

A SUSTENTABILIDADE NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Estudo de Casos

DIOGO JOÃO AFONSO DA COSTA RODRIGUES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JANEIRO DE 2020

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2019/2020

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2019/2020 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais, Irmão, Madrinha, Namorada e Amigos

*"Um homem de sucesso é aquele que consegue estabelecer uma base sólida com os tijolos
que outros lhe lançaram."*

David Brinkley

AGRADECIMENTOS

Desejo agradecer a todos os que, de forma alguma, me ajudaram a percorrer todo este caminho académico, até à conclusão desta dissertação.

Aos meus pais, por todo o apoio que me prestaram durante este longo período académico de estudos, assim como em toda a minha vida, também pelo carinho e bons conselhos que sempre me foram transmitindo, guiando-me ao caminho do sucesso.

À minha madrinha, pelo carinho e preocupação que sempre me transmitiu e por estar sempre presente, incluindo nos momentos mais importantes na minha vida.

Ao meu irmão, pelas palavras sábias da experiência, que me foi transmitindo desde a minha tenra idade, para que pudesse seguir alguns dos seus passos no caminho do sucesso, tanto a nível académico como na vida.

À minha namorada Natália, por acreditar em mim e nas minhas capacidades, pelo carinho, apoio e motivação que constantemente me transmitiu e por me ter acompanhado sempre em todos os momentos, incluindo os mais difíceis.

Ao meu colega e amigo Miguel Sousa, pela grande ajuda que me prestou várias vezes, permitindo-me compreender mais acerca do uso de algumas ferramentas informáticas úteis para este trabalho.

À Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho, pela simpatia e pela grande disponibilidade oferecida para ajudar, na organização de ideias, discussão de opiniões e transmissão de sugestões sempre muito úteis para que este trabalho fosse avançando até à sua conclusão.

RESUMO

As atividades humanas relacionadas com o setor da construção estão entre as mais responsáveis pelas alterações climáticas pois incluem a exploração inadequada de recursos naturais e a produção de grandes quantidades de resíduos, além das grandes quantidades de gases de estufa emitidas para a atmosfera antes, durante e após os processos construtivos.

Devido à emergência da situação climática é fundamental que a construção e reabilitação de edifícios permita que estes sejam mais sustentáveis, valorizando mais o ambiente, através da seleção dos materiais e soluções construtivas mais ecológicas que permitam reduções no impacto ambiental final dos projetos, contribuindo assim para um desempenho ambiental melhor dos edifícios, satisfazendo ao mesmo tempo as mesmas necessidades sociais.

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um método que nos permite fazer uma gestão ambiental quantificando os impactos ambientais associados a um produto, podendo ser aplicado a cada material de construção ou solução construtiva e, posteriormente, a todo o edifício, permitindo nos fazer comparações entre diversas soluções e as suas alternativas de forma a perceber qual a mais favorável para o utilizador e o ambiente.

Existem também vários programas informáticos, como por exemplo o LESOCOOL, que nos permite simular o desempenho térmico de um edifício ou das suas divisões, o que nos vai permitir fazer comparações entre diferentes soluções e suas alternativas de modo a perceber qual é a mais adequada para o nível de conforto térmico pretendido.

Além deste programa informático, temos também o HOBOWARE, que se utiliza para o tratamento de dados recolhidos por data loggers. Os sensores usados neste trabalho permitem fazer medições de temperatura e humidade relativas, possibilitando uma caracterização do clima interior e exterior de um edifício e suas divisões que eventualmente necessitem de uma intervenção de reabilitação.

Nesta dissertação são apresentados dois casos de estudo relativos a dois edifícios, um já reabilitado e o outro com necessidade de ser reabilitado no futuro. O objetivo é estudar, com a ajuda da metodologia ACV e dos programas informáticos já referidos, algumas das soluções construtivas que foram adotadas, assim como o seu desempenho, e apresentar soluções alternativas que representem um impacto ambiental menor, satisfazendo as mesmas necessidades sociais.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, Reabilitação, Conforto térmico, Avaliação do Ciclo de Vida

ABSTRACT

Human activities related to the construction sector are among the ones with highest impact on climate change as they include inadequate exploitation of natural resources and the production of large amounts of waste, as well as large amounts of greenhouse gases emitted into the atmosphere before, during and after the construction processes.

Due to the emergency of the climate situation it is essential that the construction and rehabilitation of buildings allow them to be more sustainable, enhancing the environment through the selection of the most environmentally friendly materials and building solutions that allow reductions in the final environmental impact of projects, thus contributing to better environmental performance of buildings while meeting the same social needs.

Life Cycle Assessment (LCA) is a method that allows us to perform environmental management by quantifying the environmental impacts associated with a product, and can be applied to each building material or building solution, and subsequently to the entire building, allowing us to make comparisons between different solutions and their alternatives in order to understand which one is most favorable for the user and the environment.

There are also several computer programs, such as LESOCOOL, which allows us to simulate the thermal performance of a building and its zones, allowing us to make comparisons between different solutions and their alternatives in order to understand which one is the most suitable for the desired level of thermal comfort.

In addition to this software, we also have HOBOWARE which, is used for processing data collected by data loggers. The sensors used in this work make temperature and relative humidity measurements, enabling the characterization of the indoor and outdoor climate of a building that may possibly require a refurbishment action.

This dissertation presents two case studies related to two buildings, one already renovated and the other in need of renovation or refurbishment in the future. The objective is to study, with the help of the LCA methodology and the aforementioned computer programs, some of the construction solutions that have been adopted, as well as their performance, and to present alternative solutions that have a lower environmental impact while meeting the same social needs.

KEYWORDS: Sustainability, Renovation, Thermal Comfort, Life Cycle Assessment

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS A ATINGIR	1
1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO	2

2. CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS	3
2.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA	3
2.2. O SETOR DA CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO EM PORTUGAL E NO MUNDO	3
2.2.1. CONSTRUÇÃO A NÍVEL MUNDIAL	3
2.2.2. CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO A NÍVEL NACIONAL	5
2.3. A CONSTRUÇÃO E A REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS E O AMBIENTE	9
2.3.1. SUSTENTABILIDADE E A SITUAÇÃO CLIMÁTICA GLOBAL	9

3. SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS OBJETO DE ESTUDO	19
3.1. LOCALIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO	19
3.2. CASA DAS VARANDINHAS (REABILITADA)	20
3.3. CASA DO MANEL (A REABILITAR)	28
3.4. RECURSOS DISPONÍVEIS NAS ÁREAS ENVOLVENTES DAS CASAS	35

4. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS (acv)	39
4.1. INTRODUÇÃO	39
4.2. METODOLOGIA DA ACV UTILIZADA E APLICAÇÃO AOS CASOS DE ESTUDO	43
4.2.1. INTRODUÇÃO	43
4.2.2. POTENCIAL DE DIMINUIÇÃO DAS RESERVAS DE RECURSOS ABIÓTICOS (ADP)	44
4.2.3. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS (GWP)	44
4.2.4. POTENCIAL DE DESTRUIÇÃO DA CAMADA DE OZONO (ODP)	44
4.2.5. POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO (AP)	45
4.2.6. POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE OZONO TROPOSFÉRICO (POCP)	45

4.2.7. POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO (EP).....	45
4.2.8. ENERGIA NÃO RENOVÁVEL INCORPORADA (ENR)	46
4.2.9. ENERGIA RENOVÁVEL INCORPORADA (ER)	46
4.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS E SOLUÇÕES UTILIZADOS NA REABILITAÇÃO DA CASA DAS VARANDINHAS	46
4.3.1. INTRODUÇÃO AO MÉTODO ACV	46
4.3.2. LAJE ALIGEIRADA	48
4.3.3. TETO FALSO EM GESSO CARTONADO COM ESTRUTURA DE SUPORTE EM AÇO.....	51
4.3.3.1. Placas de gesso cartonado.....	51
4.3.3.2. Estrutura metálica de suporte do teto falso.....	52
4.3.4. JANELAS DE VIDRO DUPLO COM CAIXILHARIA EM ALUMÍNIO E PORTADAS EM ALUMÍNIO.	52
4.3.5. PAVIMENTO EM CERÂMICA UTILIZADO NO CHÃO DO W.C. E DA COZINHA	54
4.3.5.1. Material cerâmico	54
4.3.5.2. Argamassa de assentamento e das juntas	55
4.3.5.3. Impacte total do pavimento cerâmico	56
4.3.6. REVESTIMENTO DE SOALHO FLUTUANTE EM MADEIRA COM CAMADA DE POLIURETANO RÍGIDO UTILIZADO NA SALA DE ESTAR, NA SALA DE LEITURA E NOS DOIS QUARTOS	56
4.3.6.1. Placas de madeira.....	56
4.3.6.2 Camada resiliente de poliuretano	57
4.3.7. REVESTIMENTO CERÂMICO DAS PAREDES INTERIORES DO W.C. E DA COZINHA.....	57
4.3.7.1. Impacte do material cerâmico	57
4.3.7.2. Impacte do cimento cola utilizado para fixar as placas cerâmicas à parede	58
4.3.7.3. Impacte total do revestimento cerâmico das paredes	59
4.3.8. REVESTIMENTO DAS PAREDES NO INTERIOR DA CASA, NA SALA DE ESTAR, SALA DE LEITURA E NOS DOIS QUARTOS	59
4.3.9. REVESTIMENTO DAS PAREDES NO EXTERIOR DA CASA.....	60
4.3.9.1 Fachadas revestidas com placas de pedra espessas	60
4.3.9.2. Fachadas exteriores rebocadas	61
4.3.10. TRÊS VARANDAS DA FACHADA SUL.....	61
4.3.10.1. Betão Armado	61
4.3.10.2. Placas de pedra	62
4.3.10.3 Guardas em ferro maciço.....	62
4.3.11. TINTA BRANCA DE BASE AQUOSA USADA NO INTERIOR E EXTERIOR DO EDIFÍCIO	63
4.4. IMPACTE TOTAL DA REABILITAÇÃO DA CASA DAS VARANDINHAS.....	64
4.4.1. QUANTIFICAÇÃO DO IMPACTE TOTAL	64

4.4.2. PESO DE CADA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA E MATERIAL NO IMPACTE FINAL DA REABILITAÇÃO DA CASA DAS VARANDINHAS	64
4.5. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS QUE PERMITAM A REDUÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS DA REABILITAÇÃO REALIZADA	66
4.5.1. ALTERNATIVA PARA A LAJE ALIGEIRADA (20,1% DO IMPACTE GLOBAL DA REABILITAÇÃO).....	67
4.5.2. ALTERNATIVAS PARA OS VÃOS ENVIDRAÇADOS EM VIDRO DUPLO COM CAIXILHARIA EM ALUMÍNIO (28,5% DO IMPACTE GLOBAL DA REABILITAÇÃO)	69
4.5.2.1. Vão envidraçado com caixilharia em PVC e vidro duplo (Env4).....	70
4.5.2.2. Vão envidraçado com caixilharia em madeira e vidro duplo (Env 7)	70
4.5.2.3. Vão envidraçado com caixilharia em madeira pelo interior e alumínio revestido pelo exterior com vidro duplo (Env 10)	71
4.5.2.4. Vão envidraçado com caixilharia em PVC pelo exterior e madeira revestida pelo interior com vidro duplo (Env 13)	72
4.5.2.5. Vão envidraçado com caixilharia em PVC pelo interior e alumínio revestido pelo exterior com vidro duplo (Env 16)	72
4.5.3. ALTERNATIVAS PARA O USO DO MATERIAL PEDRA NO REVESTIMENTO DAS PAREDES DO EXTERIOR (27,9%)	73
4.5.4. ALTERNATIVAS PARA PORTADAS EM ALUMÍNIO (4,6%).....	74

5. ANÁLISE DO RISCO DE SOBREAQUECIMENTO NAS CASAS EM ESTUDO

77

5.1. INTRODUÇÃO AO PROGRAMA LESOCOOL	77
5.2. SÍNTESE DAS SIMULAÇÕES A REALIZAR E SUAS CONDIÇÕES	79
5.3. SIMULAÇÕES NA CASA DAS VARANDINHAS	80
5.3.1. QUARTO DE CASAL	80
5.3.1.1. Simulação A1	81
5.3.1.2. Simulação B1	82
5.3.1.3. Simulação C1	83
5.3.1.4. Simulação D1	85
5.3.1.5. Simulação E1	86
5.3.2. QUARTO INDIVIDUAL	87
5.3.2.1. Simulação A2	87
5.3.2.2. Simulação B2	88
5.3.2.3. Simulação C2	89
5.3.2.4. Simulação D2	90
5.3.2.5. Simulação E2	91
5.4. SIMULAÇÕES NA CASA DO MANEL	93

5.4.1. QUARTO DE CASAL	93
5.4.1.1. Simulação A3	93
5.4.1.2. Simulação B3	94
5.4.1.3. Simulação C3	96
5.4.2. QUARTO 2 (INDIVIDUAL).....	97
5.4.2.1. Simulação A4	97
5.4.2.2. Simulação B4	99
5.5. SÍNTESE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	100

6. ANÁLISE DO CONFORTO HIGROTÉRMICO NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO.....

6.1. INTRODUÇÃO	105
6.2. CASA DAS VARANDINHAS.....	106
6.2.1. LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO.....	106
6.2.2. CLIMA NO EXTERIOR DAS CASAS.....	107
6.2.3. QUARTO DE CASAL.....	109
6.2.4. SALA DE ESTAR.....	110
6.2.5. COZINHA	112

7. CONCLUSÃO

7.1. CONCLUSÕES GERAIS	115
7.1.1. CONCLUSÕES RELATIVAS À AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	115
7.1.2. CONCLUSÕES RELATIVAS AO RISCO DE SOBREAQUECIMENTO NO VERÃO	116
7.1.3. CONCLUSÕES RELATIVAS AO CONFORTO HIGROTÉRMICO ATUAL	117
7.2. DESENVOLVIMENTO FUTURO	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Dados do INE relativos a variações homólogas trimestrais de obras licenciadas e concluídas em Portugal [5].....	5
Figura 2 - Número de licenças e conclusões de edifícios e fogos em Portugal nos períodos trimestrais de 2018 e primeira metade de 2019 [5]	6
Figura 3 - Número de edifícios concluídos em Portugal no período do 3º trimestre de 2018 até ao 3º trimestre de 2019 (Dados do INE).....	7
Figura 4 - Variação homóloga trimestral de edifícios e fogos concluídos em Portugal e suas regiões no 2º trimestre de 2019	8
Figura 5 - Variação homóloga trimestral de edifícios e fogos concluídos em Portugal e suas regiões no 3º trimestre de 2019	8
Figura 6 - Os Três pilares da sustentabilidade	9
Figura 7 - Metas estabelecidas no Acordo de Paris relativamente ao aumento da temperatura média mundial e às emissões de gases com efeito de estufa [10]	12
Figura 8 - Nationally Determined Contributions Global Outlook Report 2019 from the United Nations [11].....	13
Figura 9 - Evolução das emissões globais de dióxido de carbono por sectores ,consequentes da combustão de combustíveis fósseis[13]	16
Figura 10 - Emissões globais de CO2 em 2018 segundo o Global Status Report [14].....	17
Figura 11 - Localização geográfica do concelho de Baião em Portugal, inserida nos mapas NUTS II e NUTS III.....	19
Figura 12 - Distância das casas à margem do rio, de aproximadamente 114 metros	20
Figura 13 - Fachada principal orientada a norte	28
Figura 14 - Fachada voltada para o rio orientada a sul	29
Figura 15 - Planta da Casa do Manel	30
Figura 16 - Planta da Cave de vinhos e Arrecadação	30
Figura 17 - Parede interior de tabique em mau estado	31
Figura 18 - Chão em madeira	31
Figura 19 - Viga em madeira onde assentam as tábuas do soalho.....	32
Figura 20 - Estrutura do chão em madeira com pequenas vigas de madeira	32
Figura 21 - Teto em madeira.....	33
Figura 22 - Estrutura interior dos telhados	33
Figura 23 - Corte B1-B2 da Casa do Manel.....	34
Figura 24 - Fachada principal orientada a norte onde se situa a entrada principal da casa	21
Figura 25 - Fachada sul orientada para o rio	21
Figura 26 - Planta do Piso 1 destinado a habitação	22

Figura 27 - Planta da Cave	23
Figura 28 - Equipamento de exaustão no WC para remover humidades e cheiros	23
Figura 29 - Sistema de LEDs embutidos em teto falso	24
Figura 30 - Estrutura da laje aligeirada da Casa das Varandinhas constituída por vigotas tipo Maprel e tijolo de 15 cm de espessura, vista da cave	25
Figura 31 - Laje aligeirada da casa apoiada em viga de betão armado	25
Figura 32 - Soalho flutuante em madeira num dos quartos da casa	26
Figura 33 - Piso com revestimento em cerâmica na zona da cozinha, idêntico ao da zona do W.C... ..	27
Figura 34 - Corte A1-A2 da Casa das Varandinhas.....	28
Figura 35 - Tanque com água de nascente	35
Figura 36 - Vista da mina de água que abastece o tanque	35
Figura 37 - Exemplo de uma distribuição das tubagens numa zona de vinhas com cota inferior à do tanque.....	36
Figura 38 - Pinos reguláveis.....	36
Figura 39 - Consumo energético aproximado durante o ciclo de vida de um edifício [18]	40
Figura 40 - Representação esquemática das fases de ciclo de vida incluídas em cada uma das quatro variantes da avaliação do ciclo de vida (ACV)[1].....	42
Figura 41 - Capa do Livro sobre a avaliação do ciclo de vida dos edifícios	43
Figura 42 - Diversas categorias de impacte ambiental analisadas neste método.....	43
Figura 43 - Modo como a informação ambiental de uma solução construtiva está estruturada na Base de Dados do ACV [1].....	47
Figura 44 - Uma parte da tabela do livro de ACV que quantifica as categorias de impacte ambiental associadas a 1 Kg de cada material de construção[1].	47
Figura 45 - Descrição da solução construtiva Pav 1[1].....	48
Figura 46 - Categorias de impacte ambiental de AVC e de energia incorporada da solução construtiva Pav1, por metro quadrado de solução[1].	49
Figura 47 - Corte esquemático e descrição da solução de envidraçado utilizada[1].....	52
Figura 48 - Categorias de impacte ambiental de ACV e de energia incorporada da solução construtiva Env 1, por metro quadrado de solução[1].	53
Figura 49 - Descrição da solução construtiva de pavimento com painéis de betão alveolares e corte esquemático, segundo o livro [1].....	67
Figura 50 - Exemplo de painéis alveolares	68
Figura 51 - Impactes associados à solução construtiva de pavimento com painéis alveolares	68
Figura 52 - Temperaturas externas relativas ao período de 24 a 26 de agosto	78
Figura 53 - Representação do quarto de casal da Casa das Varandinhas no programa AUTOCAD..	81
Figura 54 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação A1	81

Figura 55 - Resultados da simulação A1	82
Figura 56 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação B1	82
Figura 57 - Resultados da simulação B1	83
Figura 58 - Resultados da simulação C1	84
Figura 59 - Gráfico de fluxo de ar horário relativo à Simulação C1	84
Figura 60 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação D1	85
Figura 61 - Resultados da simulação D1	85
Figura 62 - Resultados da simulação E1	86
Figura 63 - Representação do quarto individual da Casa das Varandinhas no programa AUTOCAD	87
Figura 64 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação A2	88
Figura 65 - Resultados da simulação A2	88
Figura 66 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação B2	89
Figura 67 - Resultados da simulação B2	89
Figura 68 - Resultados da simulação C2	90
Figura 69 - Gráfico de fluxo de ar horário relativo à Simulação C2	90
Figura 70 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação D2	91
Figura 71 - Resultados da simulação D2	91
Figura 72 - Resultados da simulação E2	92
Figura 73 - Gráfico de fluxo de ar horário relativo à Simulação E2	92
Figura 74 - Representação do quarto de casal da Casa do Manel no programa AUTOCAD	93
Figura 75 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação A3	94
Figura 76 - Resultados da simulação A3	94
Figura 77 - Gráfico de fluxo de ar horário relativo à Simulação B3	95
Figura 78 - Resultados da simulação B3	95
Figura 79 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação C3	96
Figura 80 - Resultados da simulação C3	96
Figura 81 - Representação do quarto singular da Casa do Manel no programa AUTOCAD	97
Figura 82 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação A4	98
Figura 83 - Resultados da simulação A4	98
Figura 84 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação B4	99
Figura 85 - Resultados da simulação B4	99
Figura 86 - Planta da Casa das Varandinhas com as localizações dos dispositivos assinaladas a vermelho	106
Figura 87 - Localização dos dispositivos de medição na Casa das Varandinhas	107

Figura 88 - Dados medidos representados no programa HOBOWARE do clima do exterior das casas	108
Figura 89 - Temperaturas exteriores.....	108
Figura 90 - Dados medidos representados no programa HOBOWARE do quarto de casal da Casa das Varandinhas	109
Figura 91 - Temperaturas registadas no quarto de casal da Casa das Varandinhas	109
Figura 92 - Temperaturas registadas no exterior da Casa das Varandinhas	110
Figura 93 - Dados medidos representados no programa HOBOWARE da sala de estar da Casa das Varandinhas	111
Figura 94 - Temperaturas da sala de estar da Casa das Varandinhas	111
Figura 95 - Temperaturas registadas no exterior da Casa das Varandinhas	112
Figura 96 - Dados medidos representados no programa HOBOWARE da cozinha da Casa das Varandinhas	113
Figura 97 - Gráfico das temperaturas da cozinha da Casa das Varandinhas	113
Figura 98 - Temperaturas registadas no exterior da Casa das Varandinhas	114

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Algumas Conferências importantes realizadas ao longo dos últimos anos e seus documentos produzidos, relevantes no contexto da sustentabilidade [9].....	10
Tabela 2 - Valores típicos de energia incorporada e de carbono incorporado em materiais usados frequentemente na construção[20]	41
Tabela 3 - Indicadores de impacto ambiental relativos à solução construtiva laje aligeirada	49
Tabela 4 - Impacte a deduzir à laje relativo às vigotas	50
Tabela 5 - Impacte a deduzir à laje relativo a 5 cm de espessura da camada de tijolo	50
Tabela 6 - Indicadores de impacto ambiental relativos à laje aligeirada real, após correções.....	51
Tabela 7 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material gesso cartonado usado no teto falso	51
Tabela 8 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material aço em perfil usado na estrutura de suporte do teto falso	52
Tabela 9 - Indicadores de impacto ambiental relativos aos vãos envidraçados	53
Tabela 10 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material alumínio usado nas portadas.....	54
Tabela 11 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material cerâmica usado no piso do W.C. e da cozinha	55
Tabela 12 - Indicadores de impacto ambiental relativos à argamassa de assentamento e das juntas no piso do W.C. e da cozinha.....	55
Tabela 13 - Indicadores de impacto ambiental total relativo ao pavimento cerâmico	56
Tabela 14 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material madeira usado no pavimento de soalho flutuante aplicado	56
Tabela 15 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material poliuretano usado como material resiliente no pavimento	57
Tabela 16 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material cerâmica utilizado nas paredes interiores do W.C. e da cozinha.....	58
Tabela 17 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao cimento cola utilizado para fixar as placas cerâmicas à parede.....	58
Tabela 18 - Impacte total do revestimento cerâmico das paredes interiores do W.C. e da cozinha	59
Tabela 19 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material estuque de argamassa de cal usado nas paredes interiores	60
Tabela 20 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material pedra usado no revestimento exterior das paredes.....	60
Tabela 21 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material argamassa de cimento	61
Tabela 22 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material betão armado usado nas varandas	62
Tabela 23 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material pedra usado nas varandas	62
Tabela 24 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material ferro usado nas guardas das varandas	63

Tabela 25 - Indicadores de impacte ambiental relativos ao material tinta aquosa usado para pintar a casa.....	63
Tabela 26 - Indicadores de impacte ambiental relativos à totalidade dos materiais e das soluções construtivas aplicadas à casa das varandinhas na sua reabilitação	64
Tabela 27 - Peso dos impactes de cada solução construtiva e material utilizados no impacte global associado à reabilitação da Casa das Varandinhas.	65
Tabela 28 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de pavimento com painéis alveolares de betão em vez da solução da laje aligeirada real	69
Tabela 29 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em PVC em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio	70
Tabela 30 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em madeira em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio	71
Tabela 31 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em madeira pelo interior e alumínio revestido pelo exterior em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio.....	71
Tabela 32 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em PVC pelo exterior e madeira revestida pelo interior em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio	72
Tabela 33 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em PVC pelo interior e alumínio revestido pelo exterior em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio	73
Tabela 34 - Impactes das portadas de alumínio por m ²	74
Tabela 35 - Impactes das portadas em PVC por m ²	74
Tabela 36 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de portadas em PVC em vez de portadas em alumínio.....	75
Tabela 37 - Simulações a realizar na Casa das Varandinhas e suas condições	79
Tabela 38 - Simulações a realizar na Casa do Manel e suas condições	80

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ACV - Avaliação do ciclo de vida
ADP - Esgotamento de recursos abióticos
AP - Acidificação do solo e dos recursos hídricos
CFC – Clorofluorcarbonetos
ENR - Energia não renovável
EP - Eutrofização
ER - Energia renovável
GWP - Potencial de aquecimento global
ICV - Inventário do ciclo de vida
INE - Instituto nacional de estatística
ISO - *International Organization for Standardization*
LCA - *Life cycle assessment*
LCI - *Life cycle inventory*
ODP - Destruição da camada de ozono estratosférico
OSB - *Oriented Strand Board*
PIB - Produto interno bruto
POCP - Formação de ozono troposférico
CN – Construção nova

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Os impactes ambientais responsáveis pelas alterações climáticas são consequência de diversas atividades antropogénicas, de entre as quais se destacam as relacionadas com o setor da construção, sendo que este é um dos setores mais responsáveis por estes impactes no nosso planeta.

Devido ao elevado consumo energético e à extração de matérias primas que não são renováveis, as emissões de gases com efeito de estufa são muito significativas, contribuindo para as alterações climáticas, que têm deixado marcas irreversíveis no planeta Terra.

Por meio da utilização de materiais de construção adequados e da prática de técnicas construtivas exemplares podemos melhorar de forma significativa o desempenho ambiental de qualquer edifício, fazendo-o de forma sustentável [1].

O método da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) permite-nos avaliar os impactes ambientais inerentes ao ciclo de vida de um produto, permitindo uma comparação de várias soluções construtivas com diferentes impactes ambientais associados, satisfazendo ao mesmo tempo as mesmas exigências de desempenho [1].

1.2. OBJETIVOS A ATINGIR

Esta dissertação tem como objetivo principal a análise de dois casos de estudo com a mesma localização, sendo que um edifício foi reabilitado tornando-se habitável, e o outro irá ser reabilitado no futuro não oferecendo ainda condições de habitabilidade.

Numa primeira fase, através da aplicação da metodologia ACV, vão ser analisados os impactes ambientais associados à intervenção realizada num dos casos de estudo, comparando esta com soluções de reabilitação alternativas, de modo a podermos sugerir alternativas ambientalmente mais sustentáveis.

De seguida vai ser utilizado o programa informático LESOCOOL que nos vai permitir estudar o sobreaquecimento que poderá ocorrer nas divisões de ambas as casas, durante a estação de arrefecimento (Verão). Após este estudo serão feitos comentários aos resultados fornecidos pelo programa de forma a sugerir as melhores práticas no uso dos elementos das casas, como os envidraçados e as proteções solares, de forma a que sejam mais eficazes na regulação das temperaturas interiores, para que estas estejam dentro dos limites de conforto.

Por fim e com a ajuda do programa informático HOBOWARE, associado a dispositivos de medição de temperatura e humidade relativa do ar utilizados no caso de estudo relativo à casa reabilitada, serão

analisados os climas interior e exterior desse caso e posteriormente comparados entre si, para percebermos melhor o desempenho térmico desta casa.

1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO

Esta dissertação é constituída por sete capítulos.

O primeiro capítulo corresponde à introdução, onde é feito um enquadramento e explicados os objetivos a atingir.

No segundo capítulo serão apresentadas e discutidas várias informações e dados acerca do setor da construção e reabilitação em Portugal e no mundo, assim como a sua relação com a sustentabilidade e o meio ambiente.

No terceiro capítulo são apresentados os casos de estudo, assim como as suas características e localização.

No quarto capítulo é feita uma Avaliação do Ciclo de vida a um dos casos de estudo e explicada a sua metodologia. De seguida são calculados impactes de uma reabilitação anteriormente realizada e apresentadas soluções construtivas alternativas com menor impacto ambiental e desempenho semelhante.

No quinto capítulo é feita uma análise do risco de sobreaquecimento em algumas das divisões dos edifícios em estudo, e discutidos os seus resultados.

No sexto capítulo é analisado o conforto térmico de um dos edifícios em estudo.

Por fim no sétimo capítulo são apresentadas as conclusões gerais desta dissertação assim como sugestões de desenvolvimento futuro.

2

CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS

2.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA

O sector da construção é cíclico, tendo sofrido várias crises ao longo dos últimos anos com quedas acentuadas dos principais indicadores do sector, tais como o número de empresas e pessoas ao serviço e os volumes de negócios.

Para dar resposta a estes problemas tornam-se cada vez mais importantes temas como a reabilitação e a sustentabilidade, concentrando-se estes no equilíbrio entre o bem-estar humano, a economia e os impactes ambientais, sendo que não podemos esquecer que estes últimos são originados pela intervenção humana.

Apesar do segmento principal do sector da construção ser a construção nova de edifícios, temos, no entanto, de ter em conta que a reabilitação de edifícios começa a ter uma percentagem cada vez mais significativa no sector, ao longo dos tempos.

A reabilitação pode ser a solução dos problemas que o sector da construção constantemente atravessa, e é uma necessidade face ao estado de conservação do património edificado existente.

2.2. O SETOR DA CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO EM PORTUGAL E NO MUNDO

2.2.1. CONSTRUÇÃO A NÍVEL MUNDIAL

O fenómeno da globalização tem permitido às empresas do ocidente alcançar mercados que estão em crescimento e no processo de se tornarem proeminentes nos países em desenvolvimento. Isto implica o surgimento de muitas construções novas nestes países, do tipo “brick and mortar” (tijolo e argamassa). Além disso, os grandes mercados globais da construção, dos quais se destacam os de países como a China, os Estados Unidos e a Índia, continuam a produzir grandes empreendimentos, favorecendo ao mesmo tempo, cada vez mais, as grandes empresas de construção [2].

Está previsto pelos especialistas que o crescimento da indústria da construção vai continuar, facto que faz sentido, pois é acompanhado pelo crescimento demográfico mundial constante que provoca a necessidade cada vez maior de novas construções e a ascensão da economia de países como, principalmente, a China e os E.U.A., entre outros, sendo que estes investem fortemente nos mercados da construção e são grandes influenciadores da economia mundial.

Os seguintes factos apresentados são relativos a estatísticas e previsões da atualidade acerca da indústria da construção, a nível mundial [2] :

- A receita global das empresas de construção classificadas pela agência Moody's crescerá a uma média de 5% em 2019 e nos anos posteriores;
- O valor do mercado global da construção vai crescer para 8 milhões de milhões de dólares até 2030 [3];
- A China, os E.U.A e a Índia são os principais responsáveis por impulsionar o crescimento global da indústria da construção [3];
- O mercado de construção dos E.U.A. deverá crescer mais rápido que o da China nos próximos quinze anos [3];
- O crescimento do mercado de construção da Índia deverá crescer 200% mais que o da China, até 2030 [3];
- As economias mais avançadas experimentam um crescimento um pouco lento em 2019, A indústria da construção Norte-Americana desacelera para 1,2 % e a da Europa Ocidental para apenas 2,3% [4];
- A recuperação acentuada do crescimento no sul e sudeste asiático registada em 2018 abrandou em 2019, no entanto estas vão se tornar nas regiões com o crescimento mais rápido no período de 2019 a 2023 [4];
- A atividade da construção na América Latina continua a sua recuperação em 2019 com um crescimento de 1,2%, sendo previsto por especialistas que este valor tenha uma média de 3% no período de 2020 até 2023 [4];
- No entanto alguns países latino-americanos como a Argentina vão experienciar um declínio na produção de construção enquanto que a recuperação do México e do Brasil vai permanecer frágil [4];
- A região da Ásia-Pacífico é responsável pela maior parcela da indústria da construção global devido ao facto de incluir os mercados gigantes da Índia, Japão e China [4];
- O crescimento da região do Médio-Oriente e África diminui para 2,2% de 2014 a 2018, é, no entanto, esperado que este aumente com uma média de 5,5% por ano no período de 2019 a 2023[4].

De entre os vários desafios da construção a nível global, destacam-se a escassez de mão-de-obra qualificada, os níveis de produtividade estagnados, a falta de segurança na construção e a adoção lenta de novas tecnologias por parte das empresas.

2.2.2. CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO A NÍVEL NACIONAL

A construção é um setor de grande importância para a economia nacional, assim como para a economia de muitos outros países, pois é responsável pelo fornecimento de todas as infraestruturas necessárias, sejam elas públicas ou privadas, para os diversos serviços e atividades existentes no país.

Além disso, a importância do setor da construção reside também no facto de este criar vários postos de trabalho que empregam a população, facto que contribui significativamente para a evolução económica de um país.

Em Portugal, segundo dados do INE relativamente aos trimestres dos anos de 2009 até 2019, os quais podemos ver representados na Figura 1, podemos observar as variações homólogas trimestrais de obras licenciadas e concluídas em Portugal [5]. É visível um aumento generalizado nos últimos seis anos, o que é um forte indicador do crescimento da construção a nível nacional:

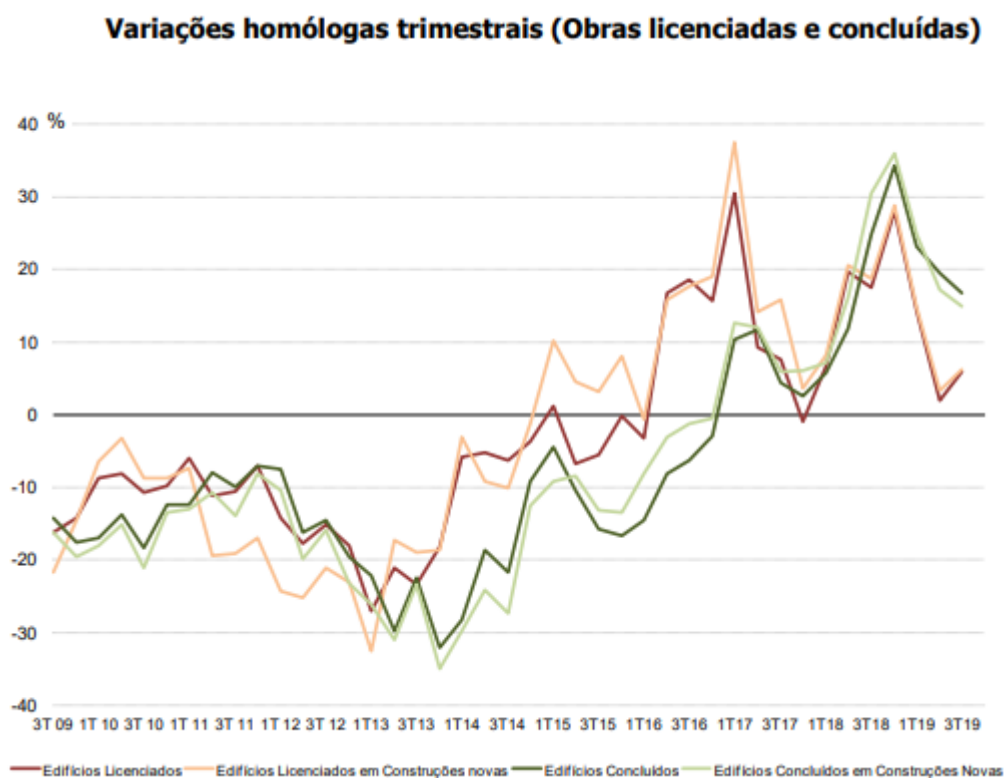


Figura 1 – Dados do INE relativos a variações homólogas trimestrais de obras licenciadas e concluídas em Portugal [5]

Notamos que, mais recentemente, no período de 2019:

- No 1º trimestre de 2019 foram licenciados 6,0 mil edifícios, um crescimento de 10,7% face ao período homólogo, correspondendo a uma desaceleração face ao 4º trimestre de 2018 (+28,1%). Os edifícios licenciados para construções novas cresceram 11,7% e o licenciamento para reabilitação aumentou 8,2%, ambos desacelerando face às variações registadas no trimestre anterior (+28,8% e +22,2%, respetivamente). Os edifícios concluídos registaram um acréscimo de 7,2% (+18,8% no 4º trimestre de 2018), perfazendo 3,7 mil edifícios. Comparativamente

com o trimestre anterior, o número de edifícios licenciados cresceu 6,0% (+5,0% no 4º trimestre de 2018) e o número de edifícios concluídos decresceu 8,2% (+4,8% no 4º trimestre de 2018).

- No 2º trimestre de 2019 foram licenciados 5,8 mil edifícios, apenas mais 0,5% que no período homólogo, correspondendo a uma desaceleração face ao 1º trimestre de 2019 (+13,3%). Os edifícios licenciados para construções novas cresceram 1,5% enquanto o licenciamento para reabilitação decresceu 12,5% (+13,5% e +9,0%, respetivamente, no 1º trimestre de 2019). Os edifícios concluídos aumentaram 19,4% (+23,1% no 1º trimestre de 2019), perfazendo 3,9 mil edifícios. Comparativamente com o trimestre anterior, o número de edifícios licenciados diminuiu 5,8% (+8,4% no 1º trimestre de 2019) e o número de edifícios concluídos cresceu 4,3% (-0,2% no 1º trimestre de 2019).
- No 3º trimestre de 2019 foram licenciados 5,7 mil edifícios, com um crescimento de 5,9% face ao mesmo período do ano anterior, correspondendo a uma aceleração face ao 2º trimestre de 2019 (+1,9%). Os edifícios licenciados para construções novas registaram um acréscimo de 6,2%, enquanto o licenciamento para reabilitação aumentou 3,9% (+3,2% e -11,3%, respetivamente, no 2º trimestre de 2019). Os edifícios concluídos aumentaram 16,7% (+19,4% no 2º trimestre de 2019), totalizando 4,1 mil edifícios.

Na Figura 2 podemos ver a evolução do número de licenças e conclusões de edifícios e fogos em Portugal, e observamos que há uma tendência geral de crescimento que tem abrandado um pouco nos períodos mais recentes.

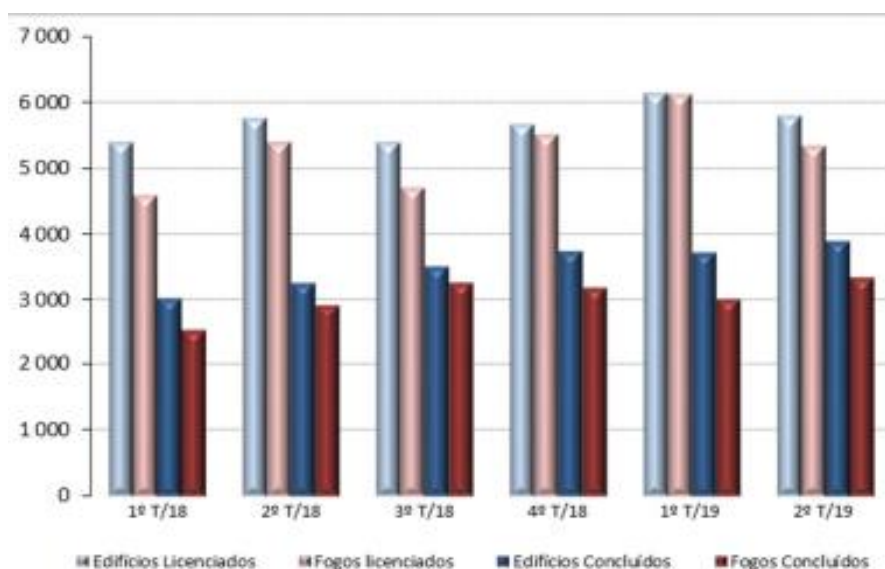


Figura 2 - Número de licenças e conclusões de edifícios e fogos em Portugal nos períodos trimestrais de 2018 e primeira metade de 2019 [5]

De acordo com o Relatório Semestral do Sector da Construção em Portugal relativo ao primeiro semestre de 2019, na sequência da recuperação da atividade económica portuguesa registada no ano de 2018, também o primeiro semestre de 2019 registou uma evolução positiva embora de forma mais moderada.[6]

A economia portuguesa tende a assentar num crescimento sustentado do produto, condição, também essencial para a redução do nível de desemprego.

No primeiro semestre de 2019, a economia portuguesa continuou a beneficiar de um enquadramento internacional global positivo, mas mais moderado que em 2018.

No entanto, o dinamismo do mercado imobiliário tem sido apontado como o grande responsável pela recuperação da atividade do setor da construção, para além do mercado das obras públicas que também tem contribuído positivamente.

Segundo o Banco de Portugal, as projeções para a economia portuguesa apontam para a continuação da recuperação da atividade económica ao longo do período 2019-2020, embora a um ritmo progressivamente menor.

Ainda segundo a mesma fonte, após um crescimento de 2,4% em 2018, o PIB deverá crescer 2% em 2019. Este abrandamento reflete um menor crescimento das exportações e do investimento, em linha com o observado no 1º semestre do ano de 2019.

Projetou-se uma subida da Formação Bruta de Capital Fixo de 7,2% em 2019, após um crescimento de 5,8% no ano anterior. O maior ritmo de crescimento reflete o comportamento da construção, influenciado pela execução de alguns projetos de infraestruturas de grande dimensão, nalguns casos associados a investimento público e beneficiando de financiamento europeu.

A atividade da construção movimenta vários sectores, a montante e a jusante da sua cadeia de produção, daí decorrendo que seja considerado um dos sectores impulsionadores da economia nacional, não só pelo seu peso específico na criação de riqueza como também de emprego, tendo em conta o seu óbvio efeito multiplicador, sendo, por isso, uma atividade fundamental para o crescimento da economia.

Quanto à reabilitação em Portugal, a situação não é muito diferente, e podemos ver na Figura 3 o número de edifícios concluídos, e relativamente ao número de obras de reabilitação concluídas, este têm vindo a aumentar ao longo dos últimos trimestres além de apresentar também, em geral, grandes variações homólogas como podemos ver na Figura 4 e na Figura 5.

Estes dados sugerem que as obras de reabilitação têm vindo a crescer em Portugal de uma forma geral, nos últimos tempos, assim como as construções novas e a área total dos edifícios concluídos.

Construção: Edifícios Concluídos	Edifícios Concluídos					Variação Homóloga (3ºT)*
	3ºT - 2018	4ºT - 2018	1ºT - 2019	2ºT - 2019	3ºT - 2019	
	Número					
Portugal						
Número de Edifícios	3 498	3 723	3 715	3 875	4 081	16,7
Reabilitação	874	983	988	1 088	1 066	22,0
Construções novas	2 624	2 740	2 727	2 787	3 015	14,9
para Habitação familiar	1 931	2 019	1 998	2 084	2 273	17,7
Fogos	3 251	3 165	3 005	3 327	3 809	17,2
Área total (m²)	1 482 216	1 533 879	1 639 016	1 643 788	1 769 906	19,4

Figura 3 – Número de edifícios concluídos em Portugal no período do 3º trimestre de 2018 até ao 3º trimestre de 2019 (Dados do INE)

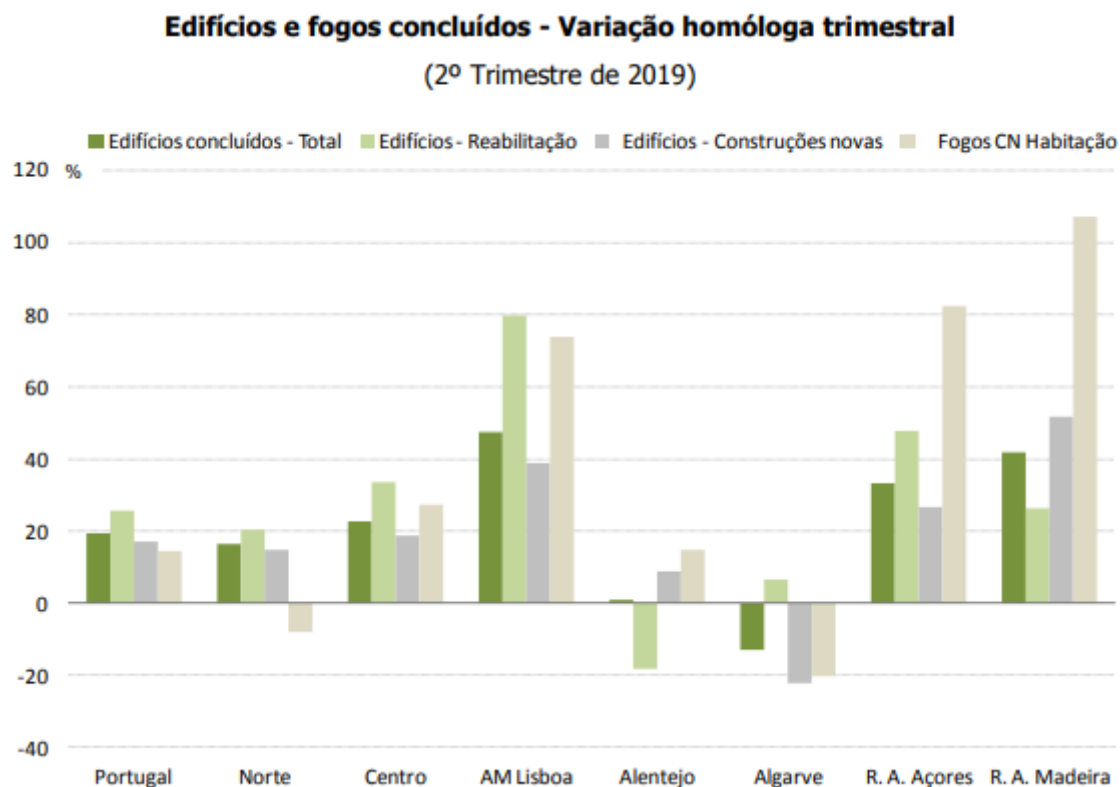


Figura 4 – Variação homóloga trimestral de edifícios e fogos concluídos em Portugal e suas regiões no 2º trimestre de 2019

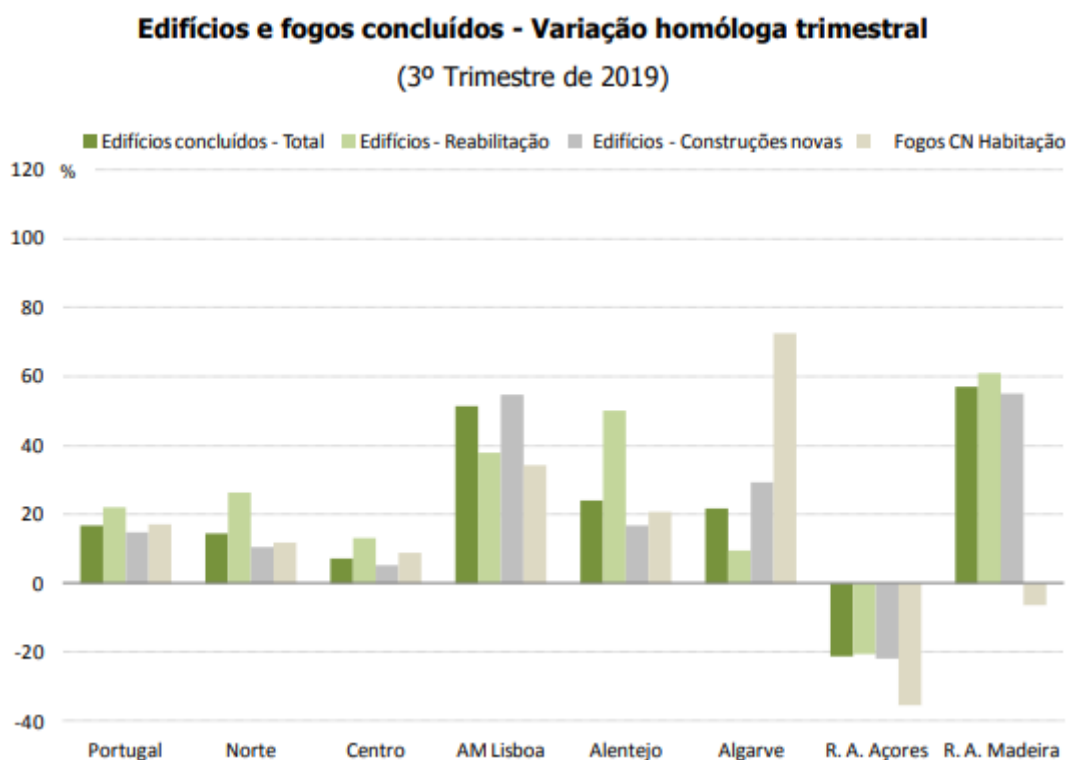


Figura 5 - Variação homóloga trimestral de edifícios e fogos concluídos em Portugal e suas regiões no 3º trimestre de 2019

2.3. A CONSTRUÇÃO E A REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS E O AMBIENTE

2.3.1. SUSTENTABILIDADE E A SITUAÇÃO CLIMÁTICA GLOBAL

A sustentabilidade pode ser avaliada através de três perspectivas diferentes: económica, ambiental e social, que devem funcionar em harmonia. [7]

Ou seja, a sustentabilidade assenta, em geral, em três pilares fundamentais que se relacionam entre si, como podemos ver na Figura 6.

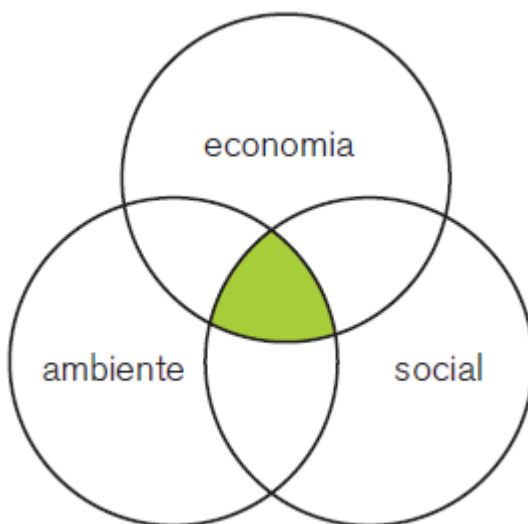


Figura 6- Os Três pilares da sustentabilidade

É de notar que, a definição de sustentabilidade está em constante mudança e é por vezes subjetiva, podendo a sustentabilidade ter significados diferentes dependendo do contexto onde nos inserimos, mas de uma forma simples, esta assenta nos três pilares que referi, e podemos dizer que os seus objetivos principais são poupar recursos e mitigar as agressões ambientais, favorecendo ao mesmo tempo os interesses das pessoas envolvidas.

Quanto à reabilitação, esta é definida como a atualização e modernização de um edifício para que este esteja de acordo com os padrões e usos modernos, levando frequentemente à realização de operações como de reforço estrutural, substituição de materiais em mau estado de utilização, demolições, entre outros, sendo também frequentemente definida como uma ação ou um processo que possibilita um uso contemporâneo de um recurso cultural ou de um elemento individual, tal como por exemplo um edifício, através de reparos, alterações e/ou acréscimos de elementos, protegendo ao mesmo tempo o seu valor patrimonial. [7]

Na Europa a indústria da construção constitui um dos sectores mais ativos e com maior dimensão, representando um peso aproximado de 28,1% de toda a indústria europeia, fornecendo também 7,5% do emprego em toda a economia europeia. O setor da indústria da construção fatura anualmente valores na ordem dos 750 milhões de euros, representando 25% de toda a produção industrial europeia, é também o maior exportador mundial com 52% do mercado.[8]

Do ponto de vista ambiental, este setor é responsável por 30% das emissões de carbono, com o parque edificado a consumir 42% da energia produzida. É de realçar também que a nível mundial a indústria da construção consome mais matérias-primas que qualquer outra atividade económica existente, o que faz com que este setor seja naturalmente um sector que nas atuais condições podemos considerar insustentável. [8]

Ao longo dos tempos, houve um desenvolvimento da ciência do ambiente, com a adoção subsequente e crescente de políticas ambientais, muitas delas provenientes da realização de conferências a nível mundial, com a participação de vários países e nações, como podemos ver na Tabela 1, produzindo estas vários documentos que foram assinados por todos os envolvidos, comprometendo-se os mesmos a cumprir as condições exigidas por estes documentos. Estes processos de combate às alterações climáticas foram graduais e têm acelerado rapidamente nos últimos anos devido à situação de emergência climática em que nos situamos no presente, estando naturalmente nestes processos inseridas, indiretamente, as práticas de construção sustentável.

Tabela 1 - Algumas Conferências importantes realizadas ao longo dos últimos anos e seus documentos produzidos, relevantes no contexto da sustentabilidade [9]

Nome da conferência	Local onde foi realizada	Ano da sua ocorrência	Documentos produzidos
Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano	Estocolmo, Suécia	1972	Declaração de Estocolmo
Conferência das Nações Unidas para as Civilizações Humanas	Vancouver, Estados Unidos	1976	Agenda Habitat I
Conferência das Nações Unidas para o Ambiente e Desenvolvimento “Earth Summit”	Rio de Janeiro, Brasil	1992	Agenda 21 e “Rio Declaration”
Conferência Mundial para o Desenvolvimento Sustentável	Istambul, Turquia	1996	Agenda Habitat II
Conferência Mundial para o Desenvolvimento Sustentável “Rio 10”	Joanesburgo, África do sul	2002	Declaração de Desenvolvimento Sustentável de Joanesburgo
Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável “Rio +20”	Rio de Janeiro, Brasil	2012	Relatório “The future we want”
Conferência das Nações Unidas para as Alterações Climáticas	Paris, França	2015	“Acordo de Paris”

Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2019 (COP 25)	Madrid, Espanha	2019	Rascunho do documento final a ser presentemente analisado e discutido para produção do documento final
---	-----------------	------	--

Como pudemos ver, no ano de 2015 ocorreu algo muito importante do ponto de vista do combate às alterações climáticas, que é um tema com o qual, sem dúvida, a sustentabilidade se relaciona fortemente. Nesse ano foi assinado o Acordo de Paris, que é um tratado no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC), que rege medidas de redução de emissão de gases de estufa a partir de 2020, a fim de manter o aumento da temperatura média global em comparação à temperatura média, na era pré-industrial, abaixo dos 2°C, preferencialmente em 1,5°C, e reforça a capacidade dos países de responder ao desafio, num contexto de desenvolvimento sustentável. Podemos observar as metas estabelecidas por este acordo na Figura 7.

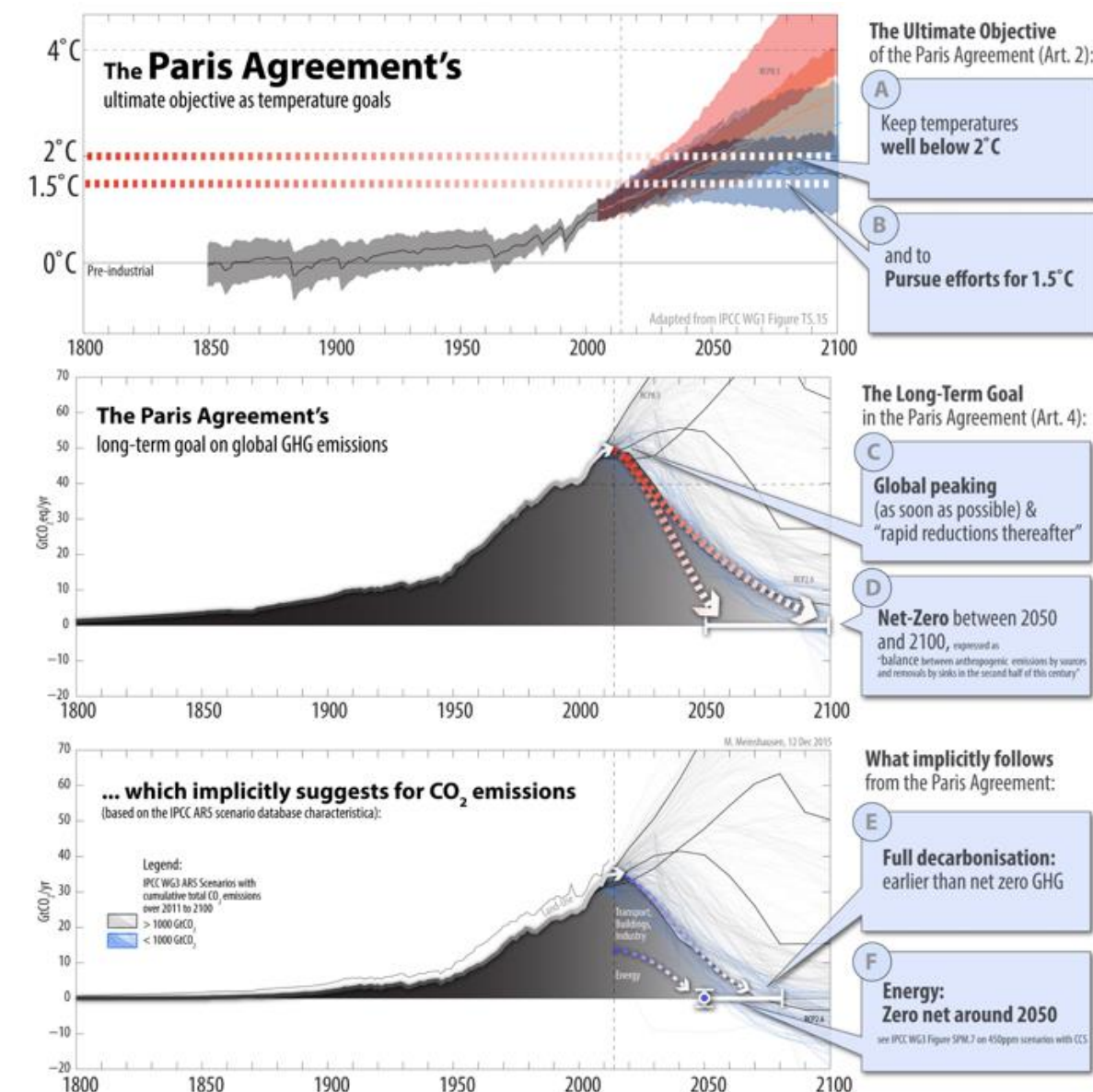


Figura 7-Metas estabelecidas no Acordo de Paris relativamente ao aumento da temperatura média mundial e às emissões de gases com efeito de estufa [10]

Este acordo foi negociado em Paris durante a conferência das Nações Unidas sobre as alterações climáticas realizada em 2015, aprovado em 12 de dezembro de 2015 e assinado pelas partes envolvidas em 22 de abril de 2016. Como podemos observar na Figura 7, os seus objetivos principais passam por atingir a total descarbonização a partir do ano de 2050 e reverter o aumento da temperatura média global em relação à temperatura média na chamada era pré-industrial, o mais rápido possível, mantendo o mesmo pelo menos na ordem dos 2°C, preferencialmente nos 1.5°C.

Recentemente, no ano de 2019, foi publicado o “Nationally Determined Contributions Global Outlook Report 2019”, isto é, um relatório da perspetiva global para as contribuições de combate às alterações climáticas das diversas nações do mundo.

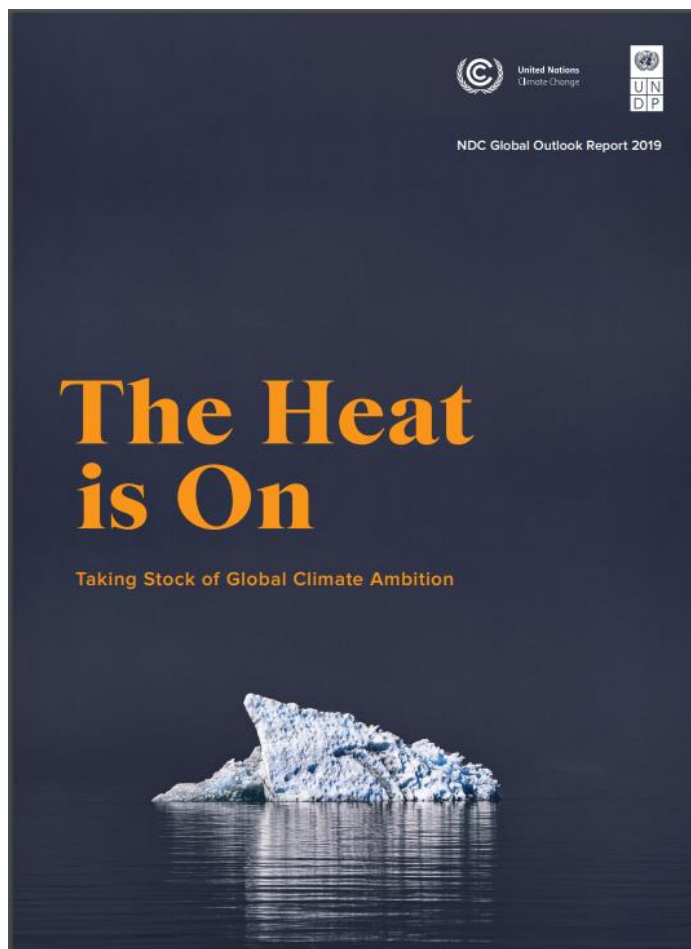


Figura 8- Nationally Determined Contributions Global Outlook Report 2019 from the United Nations [11]

Neste relatório podemos ler:

“Overall, this report finds many reasons for optimism, but much work remains. It’s clear that business as usual simply is not good enough anymore. We must do more – much more – in areas related to mitigation, adaptation, and the finance to support all of this work. And we must do it quickly.” [11].

Ou seja, neste relatório a maior conclusão retirada foi então que, apesar de os esforços e as políticas já adotadas por vários países que nos podem deixar algo otimistas, há ainda muito esforço e trabalho que têm de continuar a ser feitos, rapidamente e com urgência, para que as metas do Acordo de Paris possam ser atingidas de modo a reverter esta grave situação de emergência climática.

Recentemente, os Estados Unidos, um dos países do mundo com mais influência no que diz respeito a emissões de gases de estufa e comportamentos que contribuem para o agravamento das alterações climáticas, anunciou a saída do Acordo de Paris, sendo que esta situação contribui, infelizmente, para um retrocesso no processo de mitigação do chamado aquecimento global.

No entanto, as conferências do clima continuam a ocorrer e, em 2019, houve a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2019 (COP 25), na qual participaram quase 200 países, onde se discutiram vários tópicos importantes e se produziu um documento final, do qual se destacam os seguintes pontos chave [12]:

- Maior ambição

Há a necessidade urgente de os países serem mais ambiciosos no que diz respeito ao combate às alterações climáticas. Os compromissos assumidos até à data foram considerados insuficientes e o texto final deste documento contém um apelo para que esta situação mude, através do estabelecimento das bases para que na próxima conferência climática da Nações Unidas, a ocorrer em 2020, os governos apresentem novos compromissos de redução de emissões.

- O papel da ciência

Houve um reconhecimento de que as políticas climáticas devem ser permanentemente atualizadas com base nos avanços da ciência, os quais deverão ser tomados como o "eixo principal" a orientar as decisões climáticas nacionais.

É aqui também destacado o papel do Painel Intergovernamental de Especialistas sobre a Mudança Climática da ONU (IPCC), que publicou dois relatórios climáticos muito importantes para compreender a situação climática corrente, no ano de 2019.

- Transversalidade

Chegou-se ao consenso de que a luta contra a mudança climática é uma questão transversal, que afeta vários âmbitos, como o do mercado financeiro, ciência, indústria, energia, transporte e agricultura, entre outros. Os ministros de vários países afirmaram que os seus governos assumem a agenda climática como própria.

- Oceanos e uso do solo

Este ponto foi um dos mais debatidos nesta conferência. No acordo estão referidos, o impacto dos oceanos e do uso dos solos no clima, de acordo com um dos relatórios publicados pelo IPCC em 2019. Haverá uma reunião específica sobre este assunto em junho de 2020.

- Género

Os representantes dos quase 200 países que estiveram nesta conferência chegaram a um acordo para aprovar um novo Plano de Ação de Género, que será ainda revisto em 2025, e tem como objetivo ampliar a participação de mulheres nas negociações climáticas internacionais, promovendo o seu papel como agentes da mudança rumo a um mundo livre de emissões.

- Financiamento de perdas e danos

O acordo atingido nesta conferência prevê a criação de diretrizes para o Fundo Verde do Clima de forma a que, pela primeira vez, este órgão destine recursos às perdas dos países mais vulneráveis aos fenómenos climáticos extremos. Esta foi a principal reivindicação feita pelos pequenos países insulares, que sofrem diariamente com os efeitos do aquecimento global.

O documento pede também a alocação de recursos financeiros por parte dos países desenvolvidos para ajudar os países em desenvolvimento. Foi também criada a Rede de Santiago, que servirá para assistência técnica de organizações e especialistas a esses países vulneráveis.

- Os mercados de carbono

A regulação dos mercados de carbono foi um dos principais objetivos e dos tópicos mais debatidos nesta conferência, apesar de ter sido inicialmente incluído no documento, o tema acabou fora do texto final devido à falta de acordo e será discutido, de novo, na próxima edição da COP, a COP26 (26th Conference of the Parties) em 2020. Foi considerado por muitas delegações nacionais que foi melhor não haver um acordo do que fazer um pacto inadequado.

- O Multilateralismo

O multilateralismo e a cooperação internacional foram pontos destacados pela ministra espanhola da Transição Ecológica, que afirmou que a COP25 foi uma reafirmação destes valores para resolver um desafio global, como a mudança climática, e que embora em contextos globais complexos, a COP25 não deixou a agenda climática cair num momento fundamental para a implementação do Acordo de Paris, pelo contrário, exibiu um multilateralismo ativista.

- Uma sociedade e transição justas

A importância da dimensão social foi reconhecida na COP25, e os países envolvidos concordaram que os seres humanos devem estar no centro da resposta a esta crise climática.

O acordo alcançado nesta conferência afirma neste sentido que é imperativo que a transição para um mundo livre de emissões seja justa, promovendo a criação de empregos decentes e de qualidade.

- Um novo ciclo

O documento final reconhece a importância dos atores não governamentais na ação climática e convida estes a ampliar as ações para combater o problema do clima. A existência de um marco de governação global, como o Acordo de Paris, abriu um novo ciclo, fazendo com que a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas não seja apenas um fórum para fixar regras.

Quando falamos em reabilitação ou em sustentabilidade, ambos são temas que se relacionam inevitavelmente, estando a sustentabilidade diretamente ligada às políticas fomentadoras da mitigação das alterações climáticas, daí a enorme importância da aplicação de técnicas de reabilitação sustentável que nos permitem, não só apoiar estas políticas como também poupar recursos económicos.

Ao reabilitarmos um edifício temos frequentemente como objetivo o maior aproveitamento possível dos seus elementos já existentes, o que por si só já é um comportamento sustentável, pois com o reaproveitamento dos elementos já existentes produzimos menos resíduos e tentamos, também, adotar soluções, o mais economicamente viáveis possível.

O tema da reabilitação sustentável é, sem dúvida e nos dias de hoje, não só importante mas também de crescente relevância, devido à era de emergência climática em que vivemos no presente, e como referido anteriormente, cada vez mais os Países adotam medidas que apoiam e incentivam a prática deste tipo de construção.

Quando falamos no tema da construção sustentável devemos ter em conta que, não só na União europeia, mas também em todas as outras zonas do mundo, o setor da construção é um dos maiores consumidores de energia e emissor de gases de estufa, como podemos observar na Figura 9 , sendo, portanto, de enorme importância este tema no que diz respeito a sustentabilidade e ações pro-climáticas.

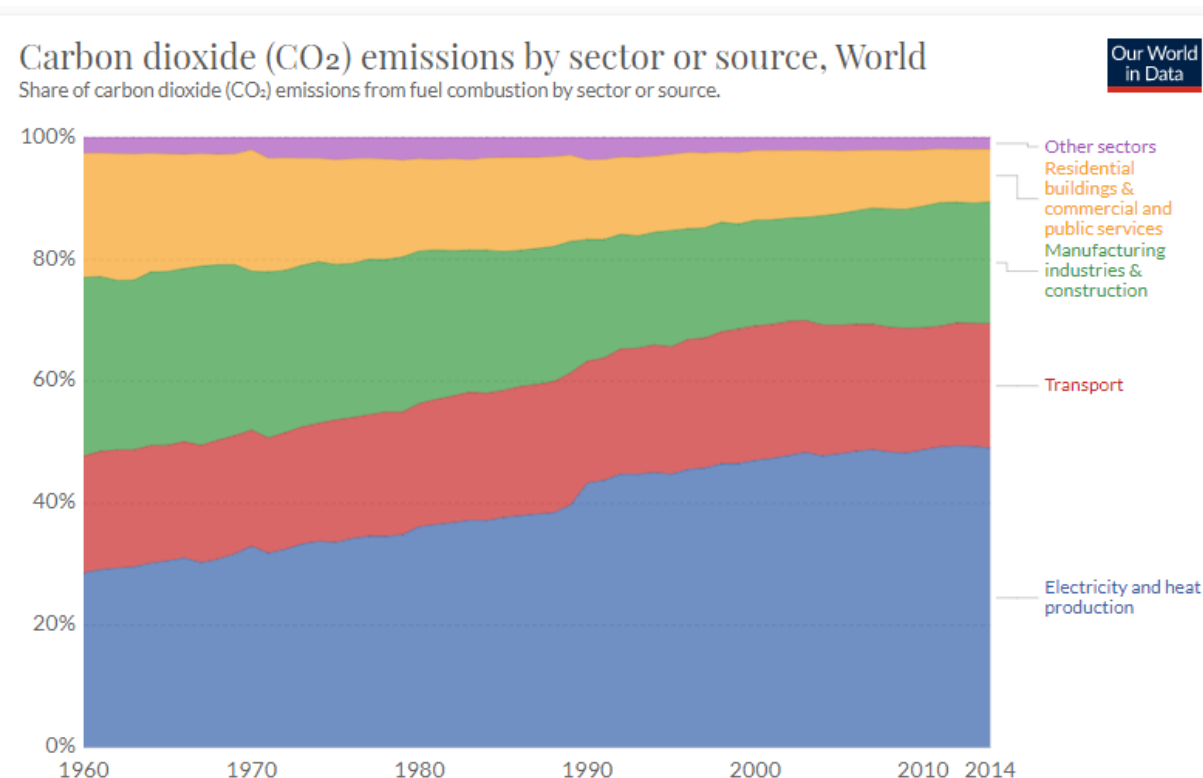


Figura 9- Evolução das emissões globais de dióxido de carbono por sectores ,consequentes da combustão de combustíveis fósseis[13]

Na Figura 9, podemos ver que em 2014 o setor da produção de eletricidade e de calor (electricity and heat production) é responsável por quase 50% das emissões globais de Dióxido de Carbono (CO₂) provenientes da combustão de combustíveis fósseis, e estas têm vindo a aumentar ao longo dos anos, sendo que o CO₂ é o principal gás de estufa responsável pelo aquecimento global. O setor dos edifícios residenciais, apesar da sua contribuição ter diminuído ao longo dos anos, é ainda responsável por cerca de 10% destas emissões e há ainda o setor da construção e indústrias de manufatura que representa um peso de 20% nestas emissões.

Na Figura 10, vemos que em 2018 segundo o relatório “global alliance for buildings and construction 2018 global status report”, os setores da construção e seus materiais representam 11% das emissões de CO₂ e o setor da utilização dos edifícios 28%, sendo que o setor da indústria representa 32% destas emissões.

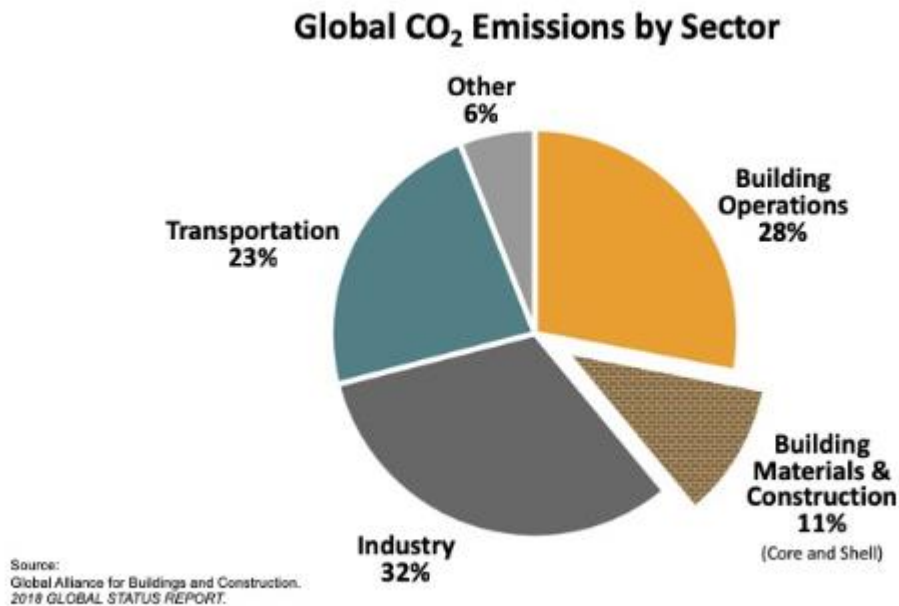


Figura 10- Emissões globais de CO₂ em 2018 segundo o Global Status Report [14]

Com estes dados podemos concluir, então, que seria interessante fazer uma análise dos edifícios que nos permita criar soluções construtivas eficientes, em especial relativamente ao uso de energia e recursos materiais, durante e após a construção ou reabilitação de um edifício, uma vez que os edifícios são grandes consumidores de recursos e energia, os quais são associados a grandes custos económicos e ambientais e, de uma forma indireta, também sociais.

Para realizar este tipo de análise é útil o uso dos métodos de avaliação da sustentabilidade na construção (MASC), no entanto a sua utilização não cabe no âmbito do presente trabalho, será então utilizado um método de avaliação do ciclo de vida (ACV) de materiais.

3

SELEÇÃO E CARATERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS OBJETO DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

Os edifícios que serão utilizados como objetos de estudo são duas habitações que se localizam em Ancede e Ribadouro, uma localidade que constitui uma das 14 freguesias que pertencem ao concelho de Baião, o qual está inserido no distrito do Porto. O concelho de Baião pertence à região Norte (NUTS II) e sub-região do Tâmega e Sousa (NUTS III), ambas representadas respetivamente no primeiro e segundo mapas e tem a sua localização geográfica representada a vermelho no terceiro mapa, na Figura 11

A Freguesia de Ancede e Ribadouro tem 15,54 km² de área e cerca de 2836 habitantes (Censos - 2011), tendo uma densidade populacional de 183,5 hab/km², e está inserida na região climática de inverno I3 e na região climática de verão V3.

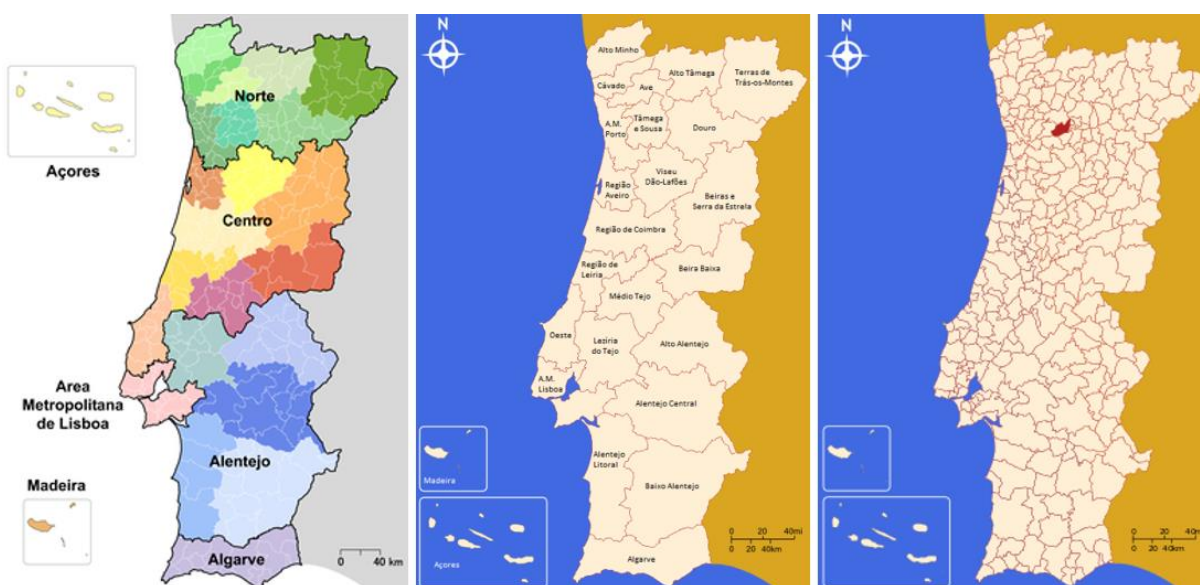


Figura 11 - Localização geográfica do concelho de Baião em Portugal, inserida nos mapas NUTS II e NUTS III

Nesta zona a exposição solar é bastante elevada. A duração da estação de aquecimento é de 6,7 meses e a amplitude térmica de 13°C. Estes dados são favoráveis à possível instalação de painéis solares para captação de luz solar e produção de energia.

Os edifícios em estudo encontram-se bastante próximos do rio Douro, a uma distância de aproximadamente 114 m de uma das margens que se inserem num vale daquele rio, como podemos ver na Figura 12 representada numa linha de cor preta, é importante ter em conta que o rio influencia certamente o clima da envolvente das casas no ponto de vista da humidade relativa do ar existente nesta zona.

Estes edifícios estão também próximos entre si, mais precisamente a uma distância de cerca de 10 metros, estando inseridos num agrupamento de 4 casas, todas elas relativamente próximas entre si, com terrenos na envolvente, pertencendo tudo isto ao mesmo proprietário.



Figura 12 - Distância das casas à margem do rio, de aproximadamente 114 metros

3.2. CASA DAS VARANDINHAS (REABILITADA)

A segunda habitação, designada pelo proprietário por “Casa das Varandinhas”, foi já reabilitada pelo mesmo e as suas fachadas orientadas a norte e sul estão respetivamente apresentadas na Figura 13 e na Figura 14. Esta habitação encontra-se de momento em boas condições de habitabilidade, e tem uma ocupação temporária.



Figura 13-Fachada principal orientada a norte onde se situa a entrada principal da casa



Figura 14- Fachada sul orientada para o rio

Esta é também uma habitação com dois pisos, o Piso 1 destinado a habitação, representado na planta da Figura 15, e uma cave utilizada como arrecadação, representada na planta da Figura 16, contendo esta no seu interior um poço com água de nascente, com cerca de 2 m de diâmetro e 7 m de profundidade.

Na planta do Piso 1 podemos ver representadas a azul as janelas quadradas de vidro duplo e a verde as janelas das varandas retangulares. Todas as janelas têm corte térmico, são oscilo-batentes com caixilharia em alumínio e contêm portadas também em alumínio, com lâminas reguláveis. As portas estão representadas com a cor laranja.

É de notar que estas janelas tendo caixilharias e portadas em alumínio lacado têm uma enorme durabilidade e uma vez que já não são em madeira, praticamente não necessitam de qualquer manutenção.

Piso 1

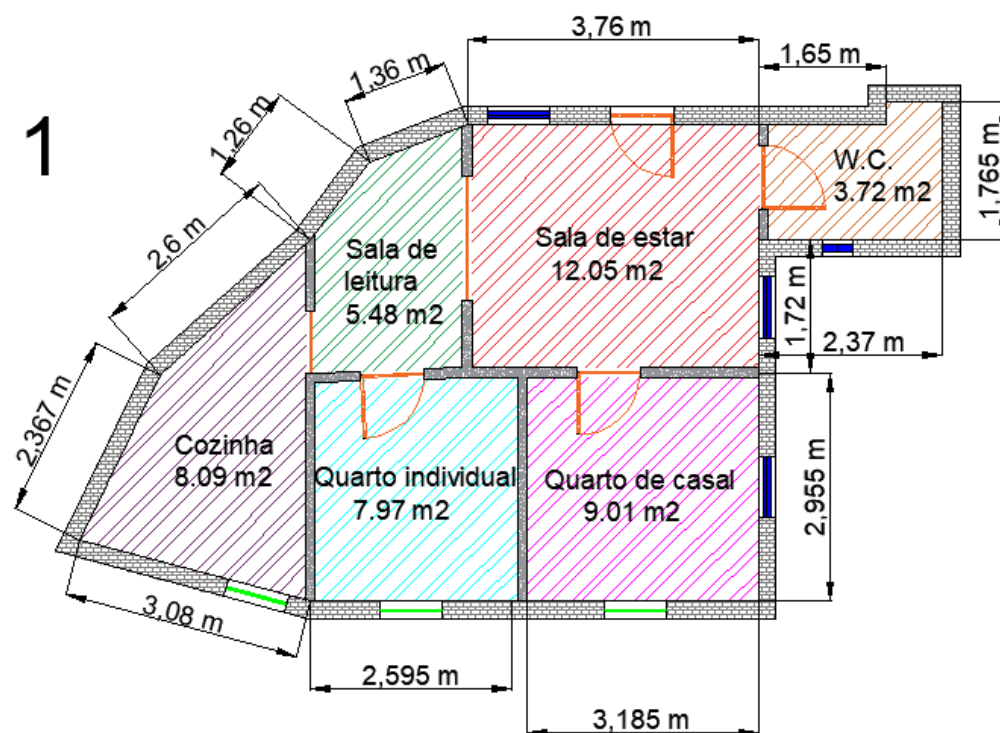


Figura 15 – Planta do Piso 1 destinado a habitação

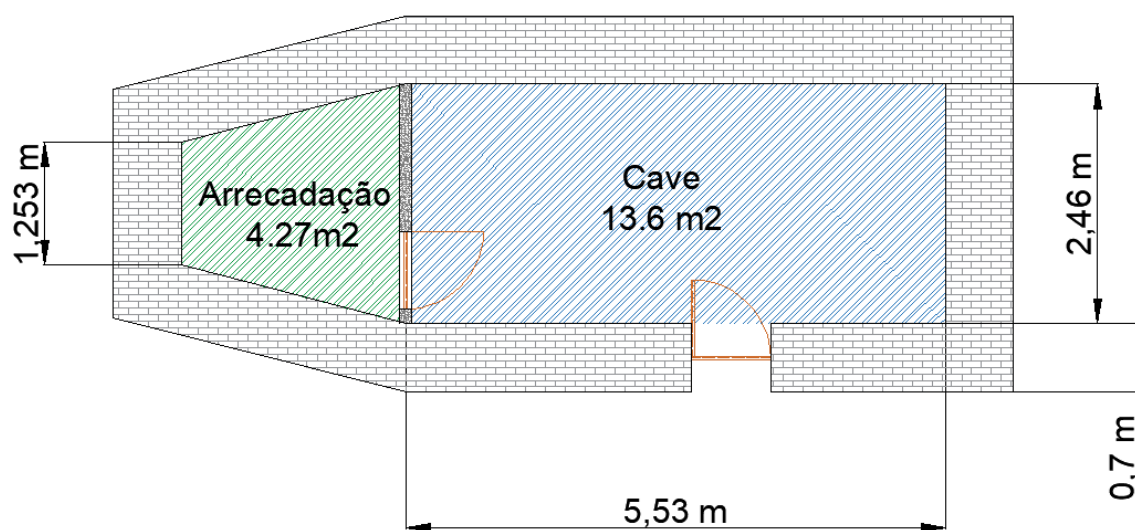


Figura 16 - Planta da Cave

O Piso 1, que tem aproximadamente 46 m², enquadra seis divisões: Uma sala de estar, uma cozinha com varanda exterior, dois quartos com varanda exterior, sala de leitura e um WC com uma pequena janela basculante e equipamento de exaustão que entra em funcionamento apenas quando o wc é utilizado como podemos ver na Figura 17.



Figura 17-Equipamento de exaustão no WC para remover humidades e cheiros

O aquecimento desta casa é feito, quando necessário, com recurso a aquecedores de parede elétricos.

A estrutura da casa é mista, com paredes exteriores em pedra de cerca de 23 cm de espessura, e paredes interiores simples, em tijolo com cerca de 12 cm de espessura. O chão é constituído por uma laje aligeirada, com uma camada de betão, e com revestimento de soalho flutuante, exceto nas divisões da cozinha e do W.C., em que o revestimento não é de soalho flutuante mas de cerâmica.

Nas intervenções de reabilitação realizadas nesta casa foi colocado um teto falso, em placa de gesso, tipo Pladur, cobrindo um teto já existente em madeira, sobre o qual se encontra a estrutura, também em madeira, que suporta o telhado da casa. Entre o teto em madeira e a placa de gesso foi deixada uma camada de ar de 10 cm.

Este teto falso em placa de gesso tipo Pladur, que está colocado em toda a habitação, inclui um sistema de iluminação embutida, com lâmpadas LED, que ilumina todo o interior da casa. Podemos ver um exemplo na Figura 18, onde se nota que este sistema representa uma poupança considerável de energia para iluminação, uma vez que as lâmpadas LED são energeticamente mais económicas que as lâmpadas de luz incandescente convencionais, apresentando, também, uma duração de vida maior. Esta é uma solução interessante, pois a iluminação representa, em média, 14% do consumo de eletricidade de uma casa [15].

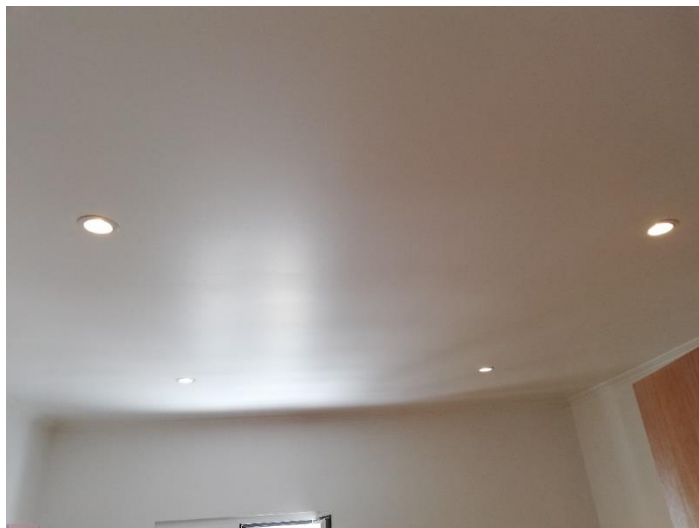


Figura 18- Sistema de LEDs embutidos em teto falso

O abastecimento de água nesta habitação é feito através da rede pública, tendo ainda instalada a possibilidade de utilização de água proveniente de nascente, através de um poço existente na cave (2 m diâmetro 7 m profundidade).

Várias intervenções de reabilitação foram já realizadas nesta casa, após ser adquirida pelo proprietário.

Inicialmente o chão era em madeira, e apoiava-se sobre as paredes de pedra da cave e uma estrutura, em cruz, de vigas de betão. Todos os elementos em madeira foram posteriormente removidos e substituídos por uma laje aligeirada, constituída por vigotas em T, tipo Maprel, onde assenta uma camada de tijolos com uma altura de 15 cm.

Na Figura 19 e na Figura 20 podemos ver que as vigotas, tipo Maprel, da laje aligeirada que suportam os tijolos do piso da Casa das Varandinhas se apoiam nas paredes de pedra da cave e em vigas de betão.

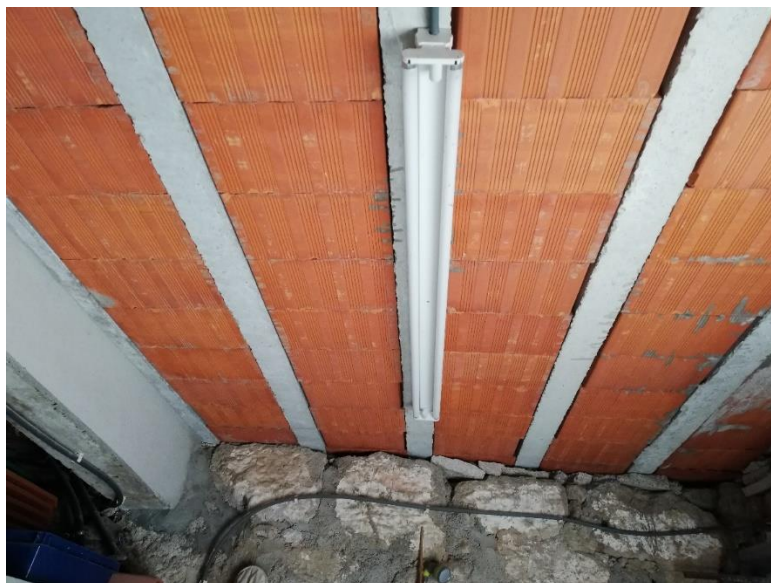


Figura 19 - Estrutura da laje aligeirada da Casa das Varandinhas constituída por vigotas tipo Maprel e tijolo de 15 cm de espessura, vista da cave

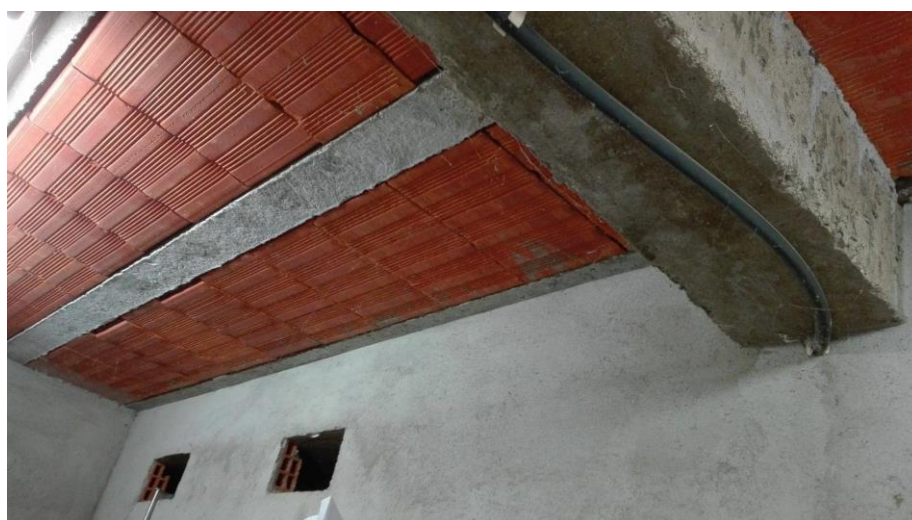


Figura 20 - Laje aligeirada da casa apoiada em viga de betão armado

Após a retirada do chão em madeira e colocação desta laje aligeirada, foi colocada uma armadura de distribuição e, de seguida, todo o pavimento foi betonado e revestido por soalho flutuante, em madeira, nas zonas da sala de estar e quartos, o qual podemos ver representado na Figura 21. A espessura final desta laje ficou na ordem dos 20 cm.



Figura 21 - Soalho flutuante em madeira num dos quartos da casa

Em relação às restantes divisões da casa, como a cozinha e o W.C. optou-se por um outro tipo de revestimento como podemos ver na Figura 22, que é constituído por cerâmica.



Figura 22 – Piso com revestimento em cerâmica na zona da cozinha, idêntico ao da zona do W.C.

Em relação às paredes da casa, tanto as paredes exteriores, em pedra, como as paredes interiores, em tijolo, foram mantidas e aproveitadas, sendo que a intervenção na sua reabilitação consistiu, apenas, na substituição dos revestimentos que estavam já em estado de degradação.

Nas zonas da sala de estar e quartos, as paredes foram cobertas por uma camada de reboco, uma camada de massa de acabamento e uma de tinta branca.

Na cozinha e no W.C., as paredes foram cobertas por reboco e revestimento cerâmico.

Todos os tetos falsos da casa foram cobertos com massa de acabamento e, posteriormente, pintados com tinta branca.

Na Figura 23 podemos ver um corte A1-A2 da casa para melhor percebermos onde a laje aligeirada assenta. Tal como já referido, a laje assenta nas paredes exteriores, em pedra, e na estrutura, em cruz, de duas vigas de betão armado, com secção retangular 25x30 cm, assinaladas no corte a azul (vista longitudinal) e a verde (vista da secção), que foram mantidas após a reabilitação já realizada desta casa.

Observando esta figura, notamos que as vigotas da laje apenas assentam no terreno a partir da zona que contém a parede de entrada, no lado A1, sendo que este espaço de ar deixado entre a laje e o terreno evita ações da humidade ascensional proveniente do terreno na mesma, representado no corte com a cor cinzenta, funcionando a Cave ao mesmo tempo como um meio de “arejar” a base da casa.

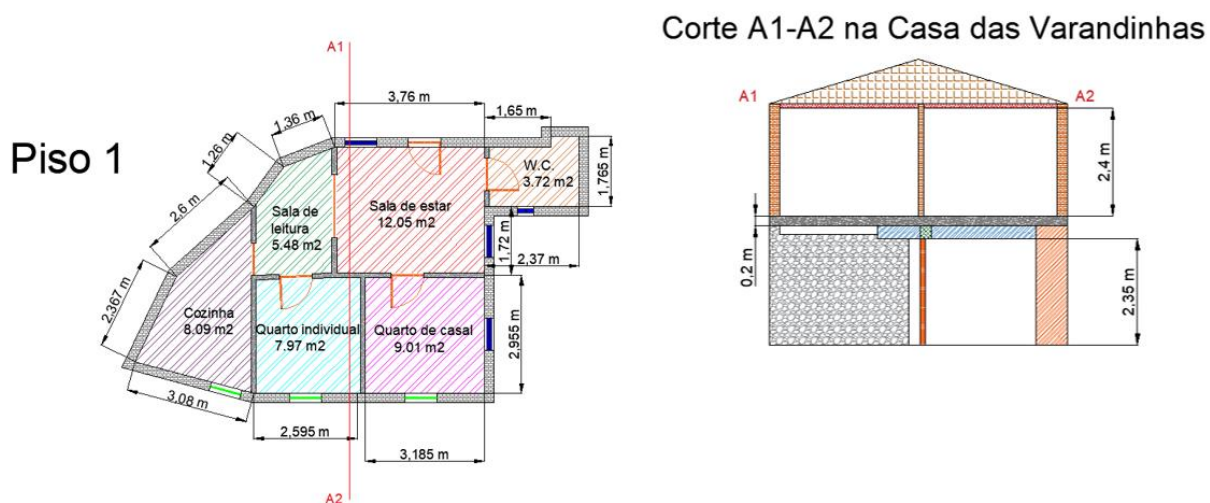


Figura 23 - Corte A1-A2 da Casa das Varandinhas

3.3. CASA DO MANEL (A REABILITAR)

A primeira habitação, designada pelo proprietário por “Casa do Manel”, está representada na Figura 24 onde podemos ver a sua fachada principal orientada a norte e na Figura 25 a fachada orientada a sul, voltada para o rio.



Figura 24- Fachada principal orientada a norte



Figura 25- Fachada voltada para o rio orientada a sul

Esta habitação encontra-se, de momento, sem condições de habitabilidade, devido a várias razões que iremos abordar mais à frente, sendo a intenção do proprietário reabilitar esta casa de forma a torná-la habitável.

Trata-se de uma habitação com dois pisos, em que o primeiro constitui uma cave com arrecadação, com cerca de 33 m², que era utilizada para armazenamento, e o segundo piso, com cerca de 64 m², era o piso destinado a habitação, onde temos várias divisões: uma sala de estar, uma cozinha com forno em barro, quatro divisões destinadas a quartos e outra de serventia, sendo que a casa de banho se situa no exterior do edifício. Podemos ver na Figura 26 a planta do primeiro piso, Piso 1, destinado a habitação com as respetivas medidas interiores e áreas das divisões e na Figura 27 a planta da cave e arrecadação.

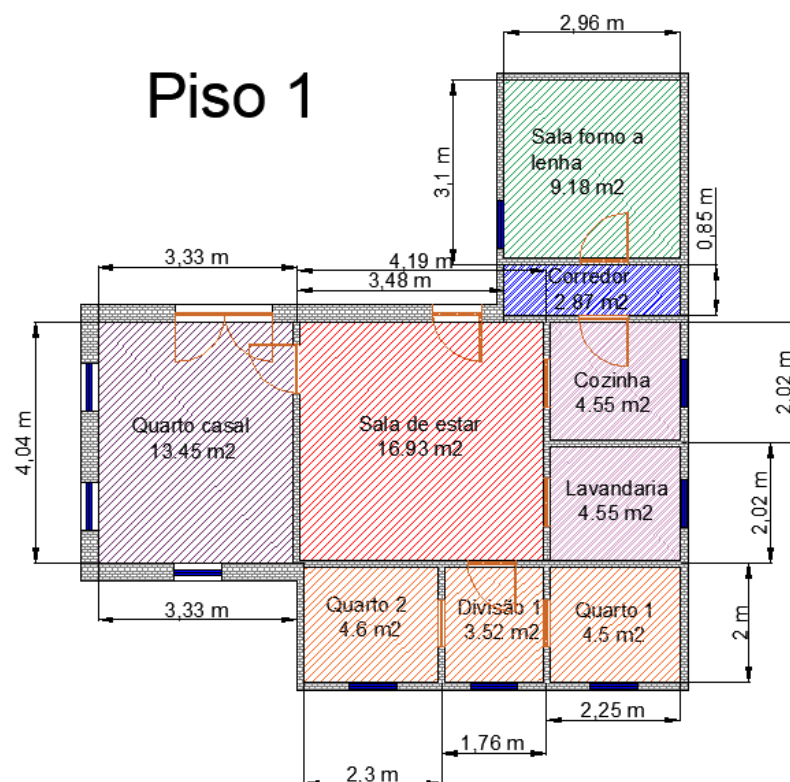


Figura 26 - Planta da Casa do Manel

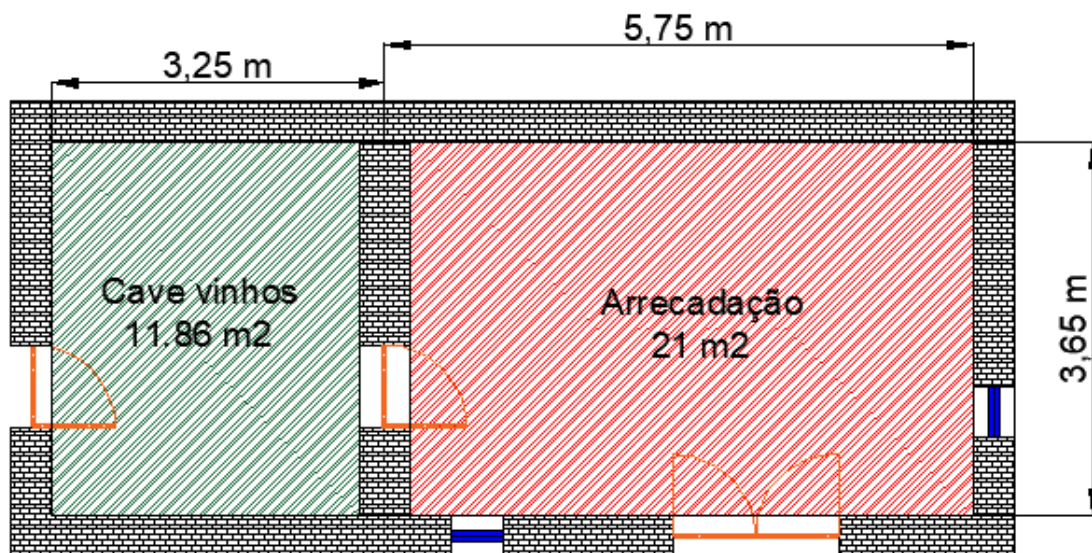


Figura 27 - Planta da Cave de vinhos e Arrecadação

A estrutura da casa é mista com paredes exteriores em pedra com 30 cm de espessura, e 40 cm no caso da cave, e paredes interiores simples de tijolo ou de tabique com cerca de 12 cm de espessura, como podemos ver na Figura 28. É de notar que na fachada exterior orientada a Este, desde a divisão “Cozinha” à divisão “Quarto 1”, assim como na fachada sul desde a divisão “Quarto 1” à divisão “Quarto 2” temos um revestimento em soletos de ardósia, como pudemos ver anteriormente na Figura 25.



Figura 28- Parede interior de tabique em mau estado

As janelas são de vidro simples, com caixilharia em alumínio e em madeira, e não têm corte térmico.

O chão é todo em madeira, como vemos na Figura 29, assentando sobre vigas de madeira, como podemos ver respetivamente na Figura 30 e na Figura 31.



Figura 29- Chão em madeira



Figura 30- Viga em madeira onde assentam as tábuas do soalho



Figura 31- Estrutura do chão em madeira com pequenas vigas de madeira

O teto é em madeira como podemos ver na Figura 32 e o telhado assenta sobre uma estrutura também em madeira que podemos ver na Figura 33.



Figura 32- Teto em madeira



Figura 33- Estrutura interior dos telhados

O abastecimento de água nesta habitação é feito através de ligação a uma mina de água da propriedade, embora exista um ramal de ligação à rede pública que se encontra desativado.

Esta casa não tem qualquer dispositivo de ventilação ou de aquecimento, e a fachada principal, onde se situa a entrada da casa, está orientada a Norte.

Como podemos observar nas figuras esta habitação encontra-se muito degradada e necessita de várias intervenções de reabilitação, seja ao nível do telhado, por onde já entra água, seja quanto às estruturas interiores e exteriores, requerendo mesmo a substituição do chão instável em madeira, portas e janelas que estão em avançado grau de degradação, assim como as paredes em tabique que estão também já muito degradadas, como pudemos ver anteriormente no exemplo da Figura 28.

Na Figura 34, podemos ver o corte B1-B2, em que com a cor laranja vemos representadas as paredes simples em tabique ou tijolo, a vermelho os elementos em madeira como o teto e o chão, a cinzento podemos ver as paredes de pedra da cave e o terreno existente por baixo do anexo da sala com forno a lenha e do corredor. Por fim com a cor azul vemos representada uma das três vigas existentes que sustentam a parte saliente da casa constituída pelas divisões designadas por “Quarto 2”, ” Divisão 1” e ”Quarto 1”.

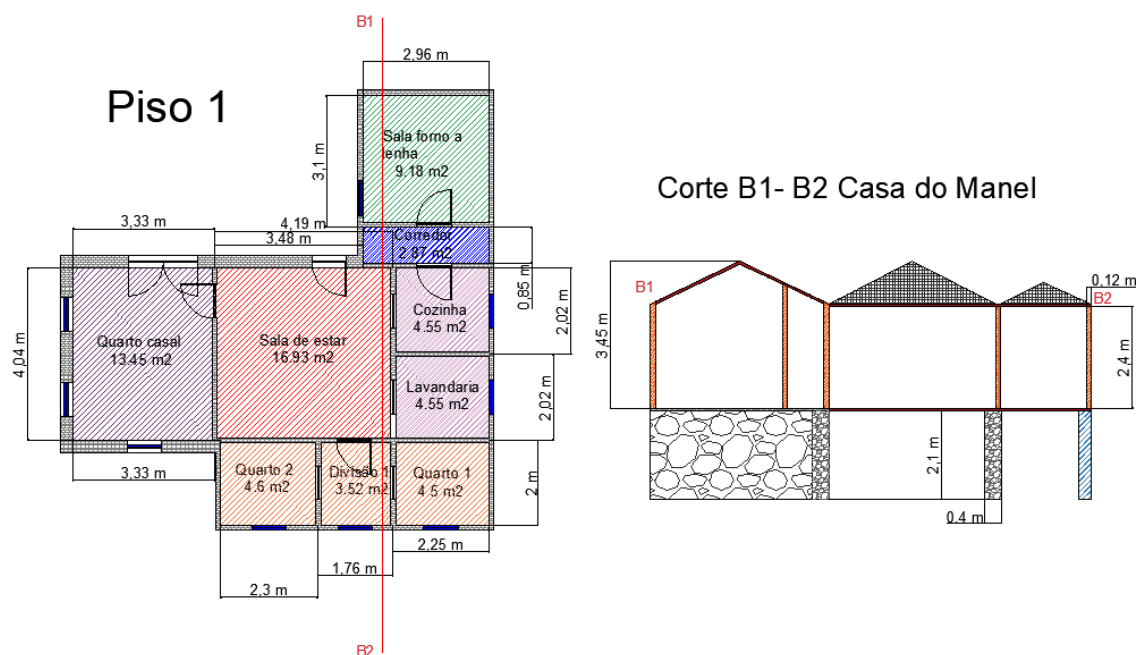


Figura 34 - Corte B1-B2 da Casa do Manel

3.4. RECURSOS DISPONÍVEIS NAS ÁREAS ENVOLVENTES DAS CASAS

Nos terrenos da envolvente destas duas casas, objeto de estudo, existe disponibilidade constante de água potável, proveniente de três minas e uma nascente.

O proprietário tem já instalado um sistema de rega “gota a gota”, com pinos reguláveis que podemos ver na Figura 35, Figura 36, Figura 37 e na Figura 38. Este sistema utiliza a água de uma das minas para regar árvores de frutos e videiras.

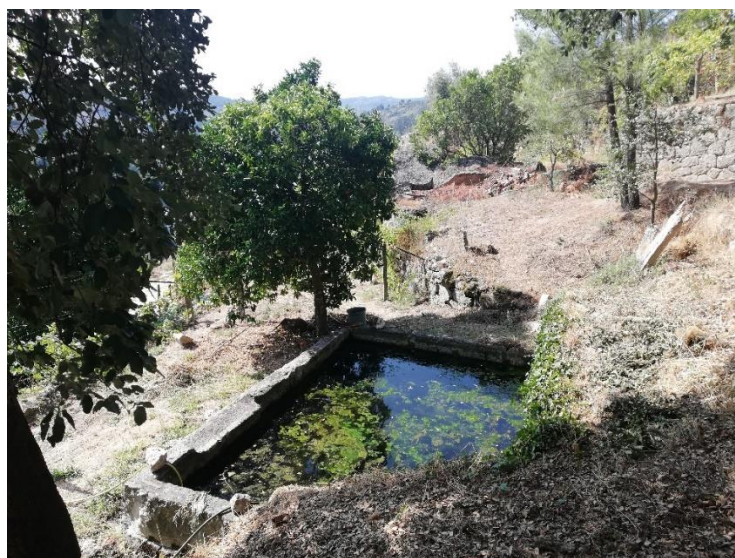


Figura 35- Tanque com água de nascente



Figura 36- Vista da mina de água que abastece o tanque



Figura 37- Exemplo de uma distribuição das tubagens numa zona de vinhas com cota inferior à do tanque



Figura 38- Pinos reguláveis

Esta mina de água localiza-se no topo dos terrenos, que têm um declive bastante acentuado, permitindo que toda esta água seja distribuída pelos terrenos por gravidade, sem recurso a dispositivos adicionais que consumam energia, tais como bombas hidráulicas, sendo esta uma solução muito sustentável.

Uma vez que esta água vem de uma cota superior à cota da “casa do Manel”, a casa que se pretende reabilitar, existe a possibilidade, no futuro, de esta mina fazer o abastecimento de água total ou parcial dessa casa.

4

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS (ACV)

4.1. INTRODUÇÃO

O setor da construção é um setor que, pela sua natureza, apresenta elevados impactos ambientais [1], sendo que a preocupação que envolve as questões ambientais a nível mundial tem vindo a crescer nos últimos anos, como é bem conhecido e foi já referido anteriormente.

Em Portugal a maior parte do impacto do ambiente construído no desenvolvimento sustentável é devido ao sector da habitação, pois este é responsável, para além de uma produção significativa de resíduos RCD, pelo consumo de grandes quantidades de recursos naturais, tais como energia elétrica, água, minerais, madeiras, entre outros. Apesar de Portugal ter um clima ameno, o seu setor residencial representa consumos de cerca de 17% do total da energia consumida a nível nacional, sendo este também responsável pelo consumo de quantidades significativas de recursos hídricos com valores na ordem dos 132 litros/habitante/dia.

A avaliação do ciclo de vida dos edifícios (ACV), é uma metodologia que se encontra já normalizada pela norma ISO 14040:2006 [16] desde a segunda metade dos anos 90, e que podemos definir como uma “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema ou produto ao longo do seu ciclo de vida”, e por esta razão podemos aplicá-la a um determinado material de construção e/ou a um edifício. [8]

Este método consiste fundamentalmente na avaliação dos impactos ambientais associados a um determinado elemento, durante todo o seu ciclo de vida, sendo que este elemento pode ser um material, uma solução construtiva ou até um edifício na sua totalidade.

A importância da ACV de um edifício reside essencialmente na capacidade de comparação de várias soluções alternativas que possam satisfazer o desempenho necessário, diferindo, no entanto, entre si, em termos de impactos ambientais.

Estima-se que nos edifícios convencionais a fase de utilização represente entre 80% a 94% do consumo total de energia durante todo o ciclo de vida de um edifício, sendo que a quase totalidade da restante percentagem de consumo (de 6% a 20%) está associada à extração dos materiais e ao seu transporte e produção, e menos de 1% da energia é consumida nos cenários do fim de vida do edifício.[17] .

Na Figura 39 podemos ver um gráfico do consumo energético aproximado durante o ciclo de vida de um edifício, a vermelho está representada a fase de utilização, relativa a aquecimento, ventilação, água quente e eletricidade. A azul, a manufatura, transporte e construção e a verde a manutenção e renovação do edifício.

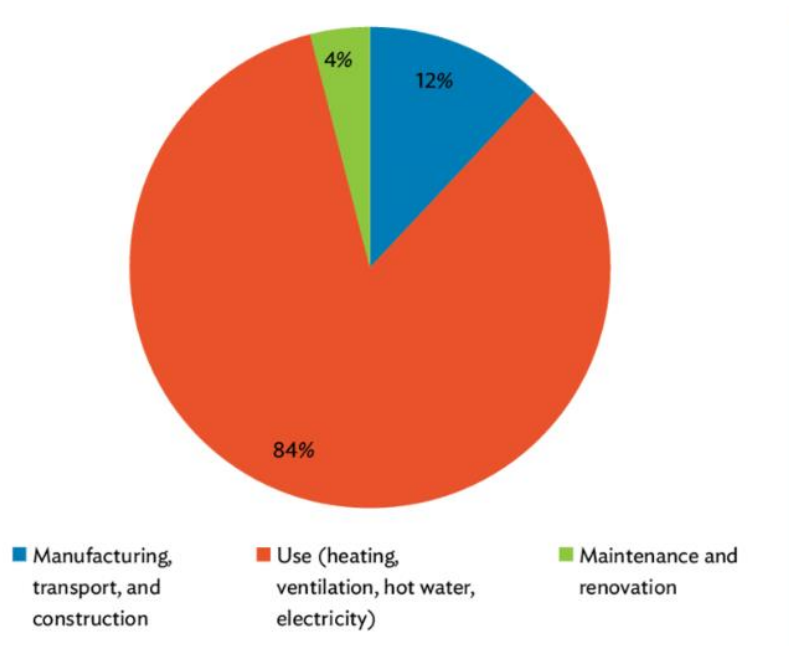


Figura 39- Consumo energético aproximado durante o ciclo de vida de um edifício [18]

Por esta razão, podemos concluir que a fase de utilização é verdadeiramente a fase em que nos devemos focar no que diz respeito à redução e otimização dos diversos consumos energéticos associados ao uso do edifício.

Tendo em conta os casos de estudo analisados nesta tese, em relação à “Casa do Manel”, uma vez que esta é uma casa que está sem condições de habitabilidade e vai necessitar de obras de reabilitação que vão implicar grandes mudanças no edifício, as escolhas feitas acerca destas obras a realizar são de enorme importância no ponto de vista da sustentabilidade e poupança energética no posterior uso do edifício, na medida em que vão definir a forma como este vai ser utilizado.

Para ajudar nesta escolha temos os dados recolhidos acerca da humidade relativa e temperaturas exterior e interior do edifício, os quais nos vão permitir retirar conclusões e tomar decisões acerca do conforto térmico nas casas em estudo. Iremos abordar e analisar estes dados num outro capítulo mais à frente.

No entanto, há que ter em conta que a análise do ciclo de vida de um edifício não fica completa se não tomarmos em conta, para além da energia incorporada nos materiais e outros fatores de consequências ambientais ponderados, abordados por Bragança e Mateus (2011) [1] , também o carbono incorporado nos mesmos, o qual podemos ver também abordado por Pomponi, De Wolf e Moncaster (2018) [19].

Quanto à energia incorporada num material de construção, esta pode ser definida como a energia consumida por todos os processos associados à sua produção, desde a mineração e processamento dos recursos naturais, à sua fabricação, transporte e entrega dos produtos. Esta energia é frequentemente representada em [MJ/kg] (Megajoule por quilograma de material).[20]

Quanto ao carbono incorporado, expresso em [kg CO₂/kg] (quilograma de CO₂ por quilograma de material), este representa, no contexto da construção, uma medida das emissões de dióxido de carbono (CO₂) resultantes de todo o processo de criação de um elemento, como um material ou edifício.[20].

Observando a Tabela 2, podemos ter uma ideia da energia e do carbono incorporados em alguns materiais frequentemente usados na construção. É de ter em conta que estes valores são estimados devido à grande complexidade de todos os processos envolvidos na a criação de um material de construção.

Tabela 2-Valores típicos de energia incorporada e de carbono incorporado em materiais usados frequentemente na construção[20]

Material de construção	Energia incorporada [MJ/kg]	Carbono incorporado [kg CO ₂ /kg]
Cimento	4,5	0,73
Aço	20,1	1,37
Tijolo	3,0	0,23
Madeira	10,0	0,3

Com a ACV é então feita uma avaliação do material ou edifício, que pode ser baseada em três variantes da avaliação do ciclo de vida, sendo estas constituídas por várias fases, como podemos ver representado na Figura 40.

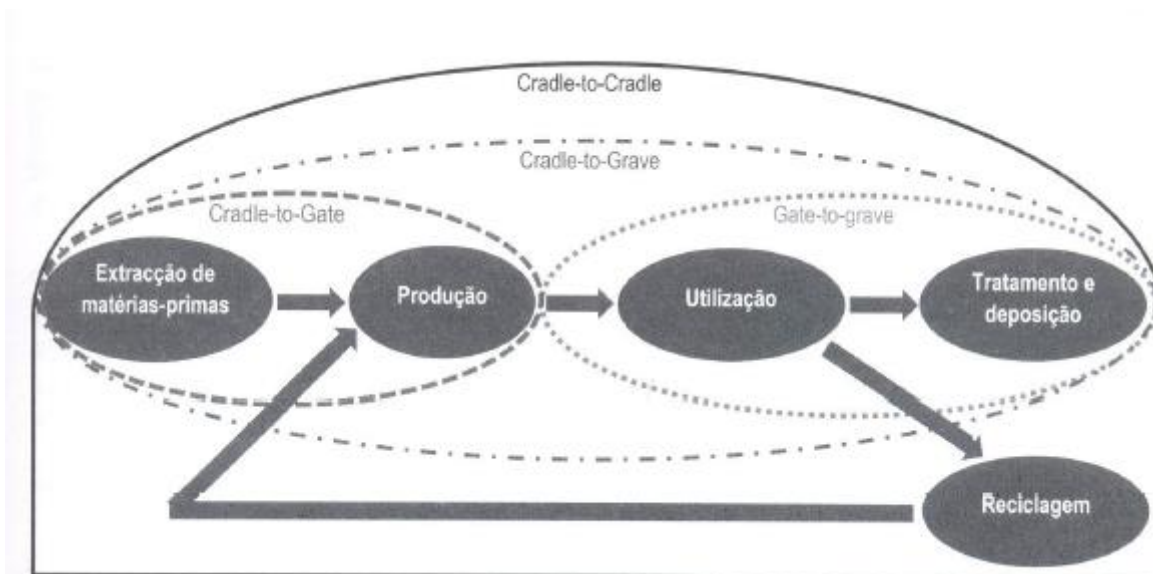


Figura 40-Representação esquemática das fases de ciclo de vida incluídas em cada uma das quatro variantes da avaliação do ciclo de vida (ACV)[1]

Podemos então ver nesta Figura 40 que temos quatro variantes da avaliação do ciclo de vida de um material ou edifício:

- “Cradle-to-Gate”, do berço ao portão;
- “Gate-to-grave”, do portão ao túmulo;
- “Cradle-to-Grave”, do berço ao túmulo;
- “Cradle-to-Cradle” do berço ao berço

Sendo que as fases incluídas e analisadas ao longo de todo o processo da ACV são:

- Extração de matérias-primas;
- Produção;
- Utilização;
- Reciclagem;
- Tratamento e deposição.

Esta dissertação foca-se mais na variante “Cradle-to-Gate”. O método que vamos aplicar aos casos de estudo desta dissertação é baseado na metodologia apresentada no livro “Avaliação do ciclo de vida dos edifícios- Impacte ambiental de soluções construtivas” (Bragança e Mateus 2011) [1] cuja capa podemos ver representada na Figura 41.



Figura 41 – Capa do Livro sobre a avaliação do ciclo de vida dos edifícios

4.2. METODOLOGIA DA ACV UTILIZADA E APLICAÇÃO AOS CASOS DE ESTUDO

4.2.1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo desta análise do ciclo de vida, aplicada aos casos de estudo, e uma vez que estamos no contexto da reabilitação, é avaliar o impacte ambiental causado pelas intervenções de reabilitação.

No caso da Casa das Varandinhas vamos analisar o impacte causado pelos materiais já adicionados durante as obras de reabilitação e vamos usar esse exemplo como comparação para tomarmos decisões acerca dos materiais que vamos recomendar para utilizar nas obras a realizar na casa do Manel, de modo a tornar este edifício mais sustentável. A análise do ciclo de vida que vamos utilizar é baseada em 8 categorias diferentes, representadas na tabela retirada do Livro [1], a qual podemos ver na Figura 42:

Categorias de impacte ambiental	Acrónimo	Método de LCA	Unidade
Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos	ADP	CML 2 baseline 2000	kg Sb eq
Alterações climáticas	GWP	IPCC 2001 GWP	Kg CO ₂ eq
Potencial de destruição da camada de ozono	ODP	CML 2 baseline 2000	Kg CFC-11 eq
Potencial de acidificação	AP		kg SO ₂ eq
Potencial de formação de ozono troposférico	POCP		Kg C ₂ H ₄ eq
Potencial de eutrofização	EP		kg PO ₄ eq
Energia não-renovável incorporada	ENR	Cumulative Energy Demand	MJ eq
Energia renovável incorporada	ER		MJ eq

Figura 42 – Diversas categorias de impacte ambiental analisadas neste método

Podemos ver também nesta Figura 42 qual o método de ACV em que essa categoria é baseada e qual a sua unidade de medição.

Estas 8 categorias de impacte ambiental englobam vários aspetos, e foram quantificadas através da utilização de três métodos intermédios de ACV:

- CML 2 baseline 2000 (CML, 2001);
- Cumulative Energy Demand (Frishnecht, Jungbluth, Althaus et al, 2003);
- IPCC 2001 GWP (CC, 2001)

Baseando-se também num total de sete bases de dados de inventários do ciclo de vida (ICV) provenientes de vários programas e livros [1]:

- Declaração ambiental de produto (EPD) para cerâmicos de alvenaria produzidos no contexto português (Almeida, Dias & Arroja, 2011);
- Ecoinvent V2.2 (SCLCI, 2010);
- IDEMAT 2001 (FIDE-DUT, 2001);
- ETH-ESU 96 (OE, 1996);
- BUWAL 250 (SAEFL, 1998);
- DK INPUT OUTPUT (DST, 2010);
- Ecology of building materials (Berge, 2000).

É importante percebermos, sucintamente, o que representa e avalia cada uma destas 8 categorias de impacto ambiental, utilizadas neste método, antes de o aplicarmos.

4.2.2. POTENCIAL DE DIMINUIÇÃO DAS RESERVAS DE RECURSOS ABIÓTICOS (ADP)

Esta categoria está relacionada com a proteção do conforto e saúde do ser humano e com a preservação dos ecossistemas, tendo como objetivo principal avaliar os problemas ambientais que provêm da decrescente disponibilidade de recursos naturais. Os recursos naturais são os materiais e minerais encontrados na terra, no mar e na atmosfera, incluindo também os combustíveis fósseis.

O seu valor relaciona-se com a quantidade de cada material e combustível fóssil extraídos, assentando nas reservas disponíveis e na sua taxa de decréscimo.

A ADP é expressa em quilogramas de antimónio (Sb na tabela periódica), equivalentes por quilograma de recurso extraído, sendo que o antimónio é um elemento tóxico. Este indicador tem repercussões à escala global[1].

4.2.3. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS (GWP)

As alterações climáticas resultam, muitas vezes e como já sabemos, em efeitos adversos para a saúde do ser humano, para a preservação dos ecossistemas e para o desempenho dos materiais.

A categoria Alterações Climáticas relaciona-se com a emissão dos chamados gases efeito de estufa para a atmosfera e é expressa em Potencial de Aquecimento Global para um horizonte de tempo de 100 anos, em quilogramas equivalentes de dióxido de carbono (CO₂) por quilo de emissão libertada para a atmosfera.

Este indicador tem, também, repercussões à escala global e associa-se, não só com as propriedades radioativas das emissões, mas também com a escala de tempo que caracteriza a remoção da substância nociva da atmosfera[1].

4.2.4. POTENCIAL DE DESTRUIÇÃO DA CAMADA DE OZONO (ODP)

A destruição da camada de ozono estratosférico origina o aumento da quantidade de radiação ultravioleta UV-V que atinge a superfície terrestre, sendo que esta situação é a causa de vários efeitos negativos na saúde humana e dos animais, e também dos ecossistemas terrestres, aquáticos e ciclos bioquímicos, influenciando, também e de forma negativa, o desempenho dos materiais.

O modelo de caracterização em que este fator se baseia foi desenvolvido pela Organização Mundial de Meteorologia (“World meteorological organisation”), que definiu o potencial de destruição de ozono de diferentes gases em quilogramas equivalentes de triclourofluormetano (CFC-11) por quilograma de emissão, sendo que este indicador tem um âmbito geográfico à escala global e a escala de tempos utilizada é infinita[1].

4.2.5. POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO (AP)

A acidificação que se caracteriza pela emissão para o ar de vários compostos, como a amónia (NH_3), o dióxido de enxofre (SO_2) e os óxidos de azoto, entre outros, que são posteriormente convertidos, através de reações químicas, em substâncias ácidas, formando as chamadas Chuvas Ácidas. Este processo ocorre quando a capacidade dos organismos do solo ou da água para resistir ou neutralizar a deposição atmosférica de acidificantes começa a diminuir.

As chuvas ácidas, consequentes da emissão destes compostos acidificantes para a atmosfera, atacam tanto materiais naturais como materiais artificiais, causando danos ao capital, à saúde humana e aos valores naturais.

Materiais como, o cimento, o calcário e até mesmo o betão, são sensíveis ao ácido formado nas chuvas ácidas, sendo que estas reagem com o material e o seu conteúdo, podendo desintegrar a sua estrutura. Os ácidos também podem causar a corrosão considerável de superfícies metálicas.

O Potencial de Acidificação é um indicador expresso em quilogramas equivalentes de SO_2 por cada quilograma de emissões para a atmosfera[1].

4.2.6. POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE OZONO TROPOSFÉRICO (POCP)

Os níveis elevados de Ozono (O_3) presente na troposfera têm consequência, como graves problemas de saúde, mortes prematuras, redução da produtividade de culturas agrícolas, alterações na biodiversidade e danos materiais.

Os vários compostos químicos associados a este problema são emitidos para a atmosfera através de muitos processos, tanto naturais como antropogénicos, ficando retidos na troposfera, onde são formados, sob a influência da radiação UV, foto-oxidantes através da oxidação fotoquímica de monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis na presença de óxidos de azoto. São estas reações que levam à formação de Ozono, além de outros compostos nocivo, como nitratos, entre outros.

Este indicador é expresso em quilogramas equivalentes de etileno (C_2H_4) por quilograma de emissão. Estas emissões têm um efeito que dura 5 dias sendo que este mecanismo tem repercussões à escala local e continental[1].

4.2.7. POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO (EP)

A eutrofização inclui todos os impactes devidos aos níveis excessivos de macronutrientes no ambiente, causados pelas emissões de nutrientes para o ar, água e solo.

Os nutrientes são normalmente adicionados ao solo através da sua fertilização, que estimula o crescimento das plantas e produtos agrícolas. Quando esses nutrientes vão parar a cursos naturais de água e solos sensíveis, ocorre uma fertilização não intencional, que pode resultar num excesso de plantas

ou algas que possivelmente vão conduzir à falta de oxigénio e consequente morte de espécies animais. Este problema ambiental está associado normalmente às emissões de azoto e fósforo.

O indicador Potencial de eutrofização é expresso em quilogramas equivalentes de fosfato (PO_4) por quilograma de emissão, sendo que este impacte ambiental tem duração infinita e repercussões à escala local e continental[1].

4.2.8. ENERGIA NÃO RENOVÁVEL INCORPORADA (ENR)

Este indicador expressa o consumo de energia não renovável associado às fases do ciclo de vida do elemento em estudo, representando, desta forma, a contribuição deste elemento para o esgotamento dos recursos não renováveis.

É expresso em equivalentes de megajoules (MJ) e inclui a energia fóssil e nuclear consumida[1].

4.2.9. ENERGIA RENOVÁVEL INCORPORADA (ER)

Este indicador não representa um impacte ambiental negativo, sendo que serve maioritariamente para mostrar a preocupação de um certo produtor em utilizar fontes de energia renovável em vez de fontes não renováveis.

A Energia renovável incorporada é expressa também em equivalentes de megajoules (MJ).

Conclui-se, então, que de entre os 8 indicadores de impacte ambiental que referimos, este é o único cujo valor vamos querer manter o mais alto possível[1].

4.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS E SOLUÇÕES UTILIZADOS NA REABILITAÇÃO DA CASA DAS VARANDINHAS

4.3.1. INTRODUÇÃO AO MÉTODO ACV

Este método dispõe de uma base de dados [1] que nos fornece estes indicadores de impacte ambiental que referimos, já quantificados, relativos a várias soluções construtivas diferentes:

- Paredes interiores (22 soluções construtivas);
- Coberturas (23 soluções construtivas);
- Envidraçados (18 soluções construtivas);
- Pavimentos (16 soluções construtivas);
- Paredes exteriores (28 soluções construtivas).

Podemos ver um exemplo relativo a um tipo de solução construtiva para uma parede interior, na Figura 43. Esta quantificação de impactes ambientais é feita para cada metro quadrado de solução construtiva.

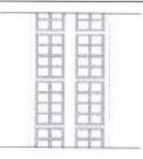
Solução construtiva	Parede dupla, com pano exterior em alvenaria de tijolo furado (11cm), caixa-de-ar, e pano interior em alvenaria de tijolo furado (11cm)							Ref: Pint 1	
	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA						Energia incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	<i>Cradle-to-gate</i>	2,53E-01	5,84E+01	3,55E-06	1,27E-01	8,17E-03	1,67E-02	5,79E+02	6,61E+01
	Fim de vida	1,39E-01	2,05E+01	3,31E-06	9,50E-02	3,63E-03	1,95E-02	3,19E+02	1,89E+00
	Total	3,92E-01	7,89E+01	6,86E-06	2,22E-01	1,18E-02	3,62E-02	8,98E+02	6,80E+01
Comentários:		Materiais Considerados: Tijolo furado, argamassa de assentamento e reboco (revestimento)							
		Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 2.04 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.04 (Para avaliar a energia)							
		Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process							

Figura 43 - Modo como a informação ambiental de uma solução construtiva está estruturada na Base de Dados do ACV [1].

Esta base de dados também fornece estas informações relativamente a vários materiais de construção, abrangendo apenas uma análise “*Cradle-to-gate*”. Podemos ver um exemplo de parte desta tabela na Figura 44, sendo que a totalidade da tabela abrange 47 materiais de construção diferentes. Neste caso a quantificação de impactos ambientais é feita para cada kg de material.

Materiais	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA						Energia incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Aço em perfil	<i>Cradle-to-gate</i>	4.54E-03	5.71E-01	5.40E-08	3.04E-03	1.85E-04	4.86E-04	8.66E00	1.16E-01
Aço para construção (em varão)		1.29E-02	1.25E+00	6.16E-08	5.57E-03	8.29E-04	1.30E-03	3.27E+01	1.52E-01
Aglomerado de madeira e cimento		5.21E-04	-3.27E-02	5.97E-09	3.10E-04	1.40E-05	4.33E-05	1.21E+00	2.08E+00
Alumínio, 50% reciclado		2.82E-02	4.28E+00	1.84E-06	3.80E-02	2.23E-03	1.21E-03	6.82E+01	0.00E+00
Argamassa de cal		1.37E-03	6.10E-01	2.08E-08	8.64E-04	3.91E-05	1.31E-04	3.26E+00	3.27E-01
Argamassa de cimento		4.90E-04	1.95E-01	8.00E-09	3.15E-04	1.29E-05	4.87E-05	1.31E+00	2.10E-01
Azulejo/mosaico cerâmico		6.30E-03	7.63E-01	8.16E-08	2.93E-03	1.36E-04	2.75E-04	1.40E+01	3.64E-01
Betão		2.38E-04	1.10E-01	3.55E-09	1.79E-04	6.49E-06	2.84E-05	5.56E-01	6.24E-03
Betão armado		6.08E-04	1.48E-01	3.55E-09	5.56E-04	5.28E-05	5.76E-05	1.24E+00	7.39E-03
Betume asfáltico		2.35E-02	5.81E-01	7.27E-07	1.94E-03	1.98E-04	3.02E-04	5.33E+01	9.73E-02
Bloco de betão leve (argila expandida)		2.14E-03	4.29E-01	3.74E-08	2.75E-03	1.14E-04	1.62E-04	4.94E+00	1.60E-01
Bloco de betão leve (poroso)		1.40E-03	4.15E-01	2.18E-08	6.69E-04	4.29E-05	8.47E-05	3.25E+00	2.03E-01
Borracha		3.88E-02	3.16E+00	3.09E-09	1.03E-02	6.76E-04	7.64E-04	8.53E+01	5.40E-01
Brita		2.95E-05	4.28E-03	4.08E-10	2.34E-05	1.01E-06	4.15E-06	5.69E-02	1.04E-03
Chapa de Zinco		1.75E+02	2.46E+00	1.37E-07	4.02E-02	1.44E-03	2.41E-03	2.84E+01	5.60E-01

Figura 44 - Uma parte da tabela do livro de ACV que quantifica as categorias de impacto ambiental associadas a 1 Kg de cada material de construção[1].

Nesta ACV vamos calcular os impactes ambientais relativos às soluções construtivas e materiais utilizados, assim como os impactes de algumas das suas alternativas.

Numa fase inicial vamos determinar o número total de metros quadrados para cada solução construtiva utilizada no edifício em estudo, multiplicando este, de seguida, pelos impactes relativos a 1m² de cada uma dessas soluções presentes na Base de Dados utilizada, que é uma entre muitas existentes internacionalmente.

Quando uma certa solução construtiva não estiver disponível na Base de Dados vamos estimar o seu valor com base numa análise dos materiais que a constituem, recorrendo à Base de dados de AVC de materiais, sendo que neste caso os impactes estão expressos por quilograma de material. Logo, vamos ter de fazer uma conversão para que estes dados sejam também por metro quadrado, de modo a podermos somar todos os valores nos cálculos do impacto final da reabilitação.

Começando, então, pelo caso da Casa das Varandinhas, numa fase inicial vamos definir os elementos e materiais adicionados durante o processo da reabilitação e as suas características.

Por uma questão de simplificação estes são os elementos de construção a analisar:

- Laje aligeirada que separa a cave e o piso destinado a habitação;
- Janelas e portadas de vidro duplo com caixilharia em alumínio;
- Revestimento em cerâmica utilizado no chão do W.C. e da cozinha;
- Revestimento de soalho flutuante utilizado na sala de estar, na sala de leitura e nos dois quartos;
- Teto falso em gesso cartonado utilizados em todas as divisões;
- Revestimento das paredes interiores da sala de estar, sala de leitura e dos dois quartos;
- Revestimento cerâmico das paredes interiores do W.C. e da cozinha;
- Revestimento das paredes exteriores;
- Varandas construídas;
- Tinta branca utilizada na pintura da casa.

4.3.2. LAJE ALIGEIRADA

Começando pelas soluções construtivas presentes na base de dados, aquela que mais se aproxima deste caso é a Solução Pav. 1 cuja descrição podemos ver na Figura 45

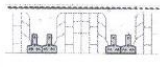
ID da solução	Corte esquemático	Descrição
Pav 1		Pavimento de dupla vigota com uma altura total de 25 cm e camada de betão complementar de 4 cm, armada com armadura de distribuição em rede electrossoldada A50. Os blocos de cofragem são cerâmicos e apresentam três fiadas de furos.

Figura 45 - Descrição da solução construtiva Pav 1[1].

Os valores das respetivas categorias de impacto ambiental de AVC e de energia incorporada, por metro quadrado de solução construtiva, são os representados na Figura 46.

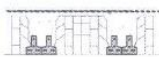
Solução construtiva	Pavimento aligeirado de vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos de cofragem sem isolante térmico	Ref: Pav 1							
	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA						Energia incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	Cradle-to-gate	2,46E-01	5,89E+01	2,61E-06	1,29E-01	1,05E-02	2,06E-02	5,13E+02	2,47E+01
	Fim de vida	1,98E-01	2,89E+01	4,67E-06	1,37E-01	5,20E-03	2,84E-02	4,56E+02	2,64E+00
	Total	4,44E-01	8,78E+01	7,28E-06	2,66E-01	1,57E-02	4,90E-02	9,69E+02	2,73E+01
Comentários:		Materiais Considerados: Betão, aço (inclui armadura nas vigotas, armadura de distribuição, nos apoios e nos tarugos) e blocos cerâmicos Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 2.04 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.04 (Para avaliar a energia) Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process e ETH-ESU 96 system process							

Figura 46 - Categorias de impacto ambiental de AVC e de energia incorporada da solução construtiva Pav1, por metro quadrado de solução[1].

Analisando a planta da Casa das Varandinhas com recurso ao programa AUTOCAD podemos retirar o valor da área da laje aligeirada, que é de 53,85 m².

Multiplicando este valor por cada uma destas 8 categorias, relativas à fase “Cradle-to-gate”, obtemos os seguintes valores de impacto na Tabela 3:

Tabela 3 - Indicadores de impacto ambiental relativos à solução construtiva laje aligeirada

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	13,25 E+00
GWP (kg CO2 eq)	31,72 E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	14,05 E-05
AP (kg SO ₂ eq)	69,50 E-01
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	56,54 E-02
EP (kg PO ₄ eq)	11,10 E-01
ENR (MJ eq)	27,63 E-03
ER (MJ eq)	13,30 E+02

No entanto, e uma vez que no caso real da Casa das Varandinhas a laje aligeirada aplicada não é de dupla vigota, mas sim de vigota simples, vamos calcular e deduzir o impacto associado a estas vigotas que não existem na laje real.

Sendo que a largura total de cada tijolo utilizado na laje é de 0,5 m, podemos calcular a quantidade total de vigotas que foram utilizadas na laje, sabendo a sua área total.

Com a ajuda da análise das plantas desta casa determinou-se que a área total da laje será de aproximadamente 50 m², o que podemos considerar, de forma simplificada, como um quadrado com cerca de 7,07 m de lado.

Dividindo este valor de 7,07 m pela largura do tijolo de 0,5 m temos o valor de 14,14 vigotas, cada uma com 7,07 m de comprimento, o que equivale a considerarmos uma vigota com cerca de 100 m de comprimento.

A massa considerada desta vigota T, tipo Maprel, é de 20,5 kg/m, logo a quantidade final a deduzir no impacto da laje será de 205 kg do material betão armado. Na Tabela 4 podemos ver o impacto a deduzir relativo às vigotas e na Tabela 5 o impacto final da laje aligeirada real:

Tabela 4 – Impacte a deduzir à laje relativo às vigotas

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	12,46 E-02
GWP (kg CO2 eq)	30,34 E+00
ODP (kg CFC-11 eq)	72,78 E-08
AP (kg SO ₂ eq)	11,40 E-02
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	10,82 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	11,81 E-03
ENR (MJ eq)	25,42 E+01
ER (MJ eq)	15,15 E-01

Uma vez que o tijolo na laje real tem apenas 15 cm de altura, e o tijolo da solução construtiva considerada inicialmente terá certamente 20cm, interessa aqui, também, deduzir este impacto adicional de 5 cm de tijolo que não está na laje real.

Considerando que a área coberta de tijolo será de aproximadamente 45 m², temos que o volume a deduzir será de 2,25 m³, o que, para uma massa volúmica estimada de 866 kg/m³, representa cerca de 1949 kg de tijolo, cujo impacto está representado na tabela seguinte:

Tabela 5 – Impacte a deduzir à laje relativo a 5 cm de espessura da camada de tijolo

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	10,22 E-01
GWP (kg CO2 eq)	19,05 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	14,00 E-06
AP (kg SO ₂ eq)	47,46 E-02
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	34,64 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	58,11 E-03
ENR (MJ eq)	22,34 E+02
ER (MJ eq)	22,08 E+01

Subtraindo à Tabela 3 os valores das correções calculados na Tabela 4 e na Tabela 5 obtemos os valor de impacte da laje aligeirada real, apresentados na seguinte Tabela 6:

Tabela 6 - Indicadores de impacte ambiental relativos à laje aligeirada real, após correções

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	12,10 E+00
GWP (kg CO2 eq)	29,51 E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	12,58 E-05
AP (kg SO ₂ eq)	63,58 E-01
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	52,00 E-02
EP (kg PO ₄ eq)	10,39 E-01
ENR (MJ eq)	25,14 E+03
ER (MJ eq)	11,08 E+02

Há que notar que o cálculo apresentado acima é apenas uma estimativa aproximada do impacte relativo à laje utilizada, tendo em conta a dificuldade de obter dados mais precisos.

4.3.3. TETO FALSO EM GESSO CARTONADO COM ESTRUTURA DE SUPORTE EM AÇO

4.3.3.1. Placas de gesso cartonado

A área total de placa de gesso cartonado e sua estrutura utilizada nos tetos da casa é de 44,2 m². A espessura de cada placa é de 13 mm, sabemos que cada placa de gesso cartonado utilizada tem 2,4 m² de área e uma massa de 22 kg. Então, o valor total de gesso cartonado utilizado corresponde a uma massa de 405,17 kg

De acordo com a tabela de materiais do livro que nos fornece os impactes por kg, podemos obter, assim, os seguintes valores finais de impacte na Tabela 7:

Tabela 7 - Indicadores de impacte ambiental relativos ao material gesso cartonado usado no teto falso

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	10,05 E-01
GWP (kg CO2 eq)	14,18 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	15,76 E-06
AP (kg SO ₂ eq)	44,16 E-02
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	19,00 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	70,1 E-03
ENR (MJ eq)	23,26 E+02
ER (MJ eq)	13,01 E+01

4.3.3.2. Estrutura metálica de suporte do teto falso

Foi estimado o valor de 20,04 kg de estrutura metálica em aço galvanizado, em perfil, utilizada para sustentar as placas do teto falso que cobrem os 44,2 m² da área do teto.

Obtemos, então, os seguintes valores finais de impacto para este material, representados na Tabela 8:

Tabela 8 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material aço em perfil usado na estrutura de suporte do teto falso

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	90,98 E-03
GWP (kg CO2 eq)	11,44 E+00
ODP (kg CFC-11 eq)	10,82 E-07
AP (kg SO ₂ eq)	60,92 E-03
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	37,07 E-04
EP (kg PO ₄ eq)	97,39 E-04
ENR (MJ eq)	17,35 E+01
ER (MJ eq)	23,25 E-01

4.3.4. JANELAS DE VIDRO DUPLO COM CAIXILHARIA EM ALUMÍNIO E PORTADAS EM ALUMÍNIO.

A solução que mais se aproxima deste caso é a solução de envidraçados com a referência Env1, cuja descrição podemos ver na Figura 47.

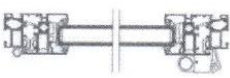
Ref. da solução	Corte esquemático	Descrição
Env 1		A solução construtiva é composta por um sistema de caixilharia de alumínio com 3 câmaras e tem uma folha com uma profundidade construtiva de 60 mm e um aro com 52 mm. O corte térmico é assegurado por "barretes" duplos de borracha de etileno-propileno-dieno (EPDM) e a separação metálica é de 9 mm. É equipada com um vidro duplo, constituído por um vidro exterior de 4 mm, caixa-de-ar de 22 mm e um vidro interior de 4 mm.

Figura 47 - Corte esquemático e descrição da solução de envidraçado utilizada[1].

Os valores das respetivas categorias de impacto ambiental de ACV e de energia incorporada, ambos por metro quadrado de solução construtiva, são os representados na seguinte

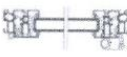
Solução construtiva	Vão envidraçado com uma caixilharia em alumínio e vidro duplo (4mm de vidro exterior, 22mm de caixa-de-ar e 4mm de vidro interior)							Ref: Env 1	
	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA						Energia incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	<i>Cradle-to-gate</i>	1,74E+00	2,51E+02	4,63E-05	1,48E+00	1,46E-01	1,24E-01	3,19E+03	1,80E+01
	Fim de vida	-1,12E+00	-1,67E+02	-1,06E-05	-9,11E-01	-7,71E-02	-7,97E-02	-2,01E+03	-7,81E+00
	Total	6,20E-01	8,40E+01	3,57E-05	5,69E-01	6,89E-02	4,43E-02	1,18E+03	1,01E+01
Comentários:		Materiais Considerados: vidro e alumínio.							
		Método(s) de LCA: CML 2 baseline 2000 versão 2.04 (para avaliar o Impacto ambiental) e Cumulative Energy Demand versão 1.04 (Para avaliar a energia)							
		Bibliotecas do LCI: Ecoinvent system process							

Figura 48 - Categorias de impacto ambiental de ACV e de energia incorporada da solução construtiva Env 1, por metro quadrado de solução[1].

O valor total da área de vãos envidraçados utilizados na casa é de 7,7 m².

Multiplicando este valor por cada uma destas 8 categorias, relativas à fase “*Cradle-to-gate*”, obtemos os seguintes valores na Tabela 9:

Tabela 9 - Indicadores de impacto ambiental relativos aos vãos envidraçados

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	13,38 E+00
GWP (kg CO2 eq)	19,30 E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	35,60 E-05
AP (kg SO2 eq)	11,38 E+00
POCP (kg C2H4 eq)	11,23 E-01
EP (kg PO4 eq)	95,35 E-02
ENR (MJ eq)	24,53 E+03
ER (MJ eq)	13,84 E+01

A área de portadas de alumínio utilizadas nos vãos envidraçados é de 7,3 m², a massa específica do alumínio é 2700 kg/m³ e a espessura das portadas é em média de 1,6 mm, sendo que os respetivos indicadores referentes ao material alumínio estão na Tabela 10.

Tabela 10 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material alumínio usado nas portadas

Indicador de impacto	Valor respectivo
ADP (kg Sb eq)	89,29 E-01
GWP (kg CO ₂ eq)	13,55 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	56,16 E-06
AP (kg SO ₂ eq)	12,03 E-01
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	70,61 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	38,31 E-03
ENR (MJ eq)	21,59 E+02
ER (MJ eq)	0

Para este cálculo a execução das portadas foi desprezada e só foi considerado o material de alumínio.

Embora a fabricação da portada acarrete algum impacto ambiental, pois são consumidos recursos e energia durante esse processo, dificilmente teríamos essa quantificação.

Optou-se, assim, por considerar o material que maioritariamente constitui a portada.

4.3.5. PAVIMENTO EM CERÂMICA UTILIZADO NO CHÃO DO W.C. E DA COZINHA

4.3.5.1. Material cerâmico

A área total de revestimento cerâmico utilizada no chão do W.C. e da cozinha é de 11,81 m², a espessura de cada placa cerâmica é de 10 mm e a massa específica da cerâmica varia entre 1800 e 2000 kg/m³. Vamos considerar, então, um valor de 1900 kg/m³.

Determinou-se que o chão do W.C. e da cozinha tem uma massa de cerca de 224,39 kg e os valores do seu impacto são:

Tabela 11 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material cerâmica usado no piso do W.C. e da cozinha

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	14,14 E-01
GWP (kg CO ₂ eq)	17,10 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	18,31 E-06
AP (kg SO ₂ eq)	65,75 E-02
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	30,52 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	61,71 E-03
ENR (MJ eq)	26,70 E+02
ER (MJ eq)	81,68 E+00

4.3.5.2. Argamassa de assentamento e das juntas

Foi utilizada uma camada de 2 mm de argamassa de assentamento e das juntas, o rendimento da argamassa utilizada é de 3 kg/m² por mm de espessura, logo o nosso rendimento será de 6 kg/m².

Para uma área de 11,81 m² de revestimento cerâmico temos uma quantidade de argamassa utilizada de cerca de 71 kg, a qual tem o seu impacto quantificado na Tabela 12.

Tabela 12 - Indicadores de impacto ambiental relativos à argamassa de assentamento e das juntas no piso do W.C. e da cozinha

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	34,79 E-03
GWP (kg CO ₂ eq)	13,85 E+00
ODP (kg CFC-11 eq)	56,80 E-08
AP (kg SO ₂ eq)	22,37 E-03
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	91,60 E-05
EP (kg PO ₄ eq)	34,58 E-04
ENR (MJ eq)	93,01 E+00
ER (MJ eq)	14,91 E+00

4.3.5.3. Impacte total do pavimento cerâmico

Na Tabela 13 vemos o impacte ambiental total relativo ao pavimento cerâmico:

Tabela 13 - Indicadores de impacte ambiental total relativo ao pavimento cerâmico

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	14,48 E-01
GWP (kg CO ₂ eq)	18,48 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	18,88 E-06
AP (kg SO ₂ eq)	67,98 E-02
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	31,43 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	65,17 E-03
ENR (MJ eq)	27,63 E+02
ER (MJ eq)	96,59 E+00

4.3.6. REVESTIMENTO DE SOALHO FLUTUANTE EM MADEIRA COM CAMADA DE POLIURETANO RÍGIDO UTILIZADO NA SALA DE ESTAR, NA SALA DE LEITURA E NOS DOIS QUARTOS

4.3.6.1. Placas de madeira

A área total de revestimento de soalho flutuante utilizado na casa é de 34,51 m², a espessura das placas de madeira do soalho é de 7 mm e a massa específica da madeira utilizada é de 420 kg/m³. Temos, então, que a massa de madeira utilizada é de 101,46 kg. Os respetivos indicadores estão na Tabela 14:

Tabela 14 - Indicadores de impacte ambiental relativos ao material madeira usado no pavimento de soalho flutuante aplicado

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	10,35 E-02
GWP (kg CO ₂ eq)	-12,18 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	12,99 E-07
AP (kg SO ₂ eq)	81,68 E-03
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	73,96 E-04
EP (kg PO ₄ eq)	13,09 E-03
ENR (MJ eq)	20,09 E+01
ER (MJ eq)	16,03 E+02

4.3.6.2 Camada resiliente de poliuretano

Quanto à camada de poliuretano expandido, usada como material resiliente, esta tem uma espessura de 2 mm, a massa específica do poliuretano expandido considerada é de 35 kg/m³. Então a massa utilizada foi de 2,4157 kg e os impactos associados estão na Tabela 15. Não foi utilizado qualquer produto de aderência para fixar esta camada ao piso, uma vez que o peso das placas de madeira já realiza essa função.

Tabela 15 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material poliuretano usado como material resiliente no pavimento

Indicador de impacto	Valor respectivo
ADP (kg Sb eq)	10,41 E-02
GWP (kg CO ₂ eq)	10,29 E+00
ODP (kg CFC-11 eq)	45,66 E-09
AP (kg SO ₂ eq)	42,76 E-03
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	49,52 E-04
EP (kg PO ₄ eq)	66,43 E-04
ENR (MJ eq)	24,16 E+01
ER (MJ eq)	62,08 E-01

4.3.7. REVESTIMENTO CERÂMICO DAS PAREDES INTERIORES DO W.C. E DA COZINHA

4.3.7.1. Impacte do material cerâmico

A área total das paredes coberta por este revestimento é de 25,57 m², a espessura de cada uma destas placas cerâmicas é de 7 mm e a massa específica da cerâmica considerada é de 1900 kg/m³.

A massa de cerâmica utilizada foi, então, de cerca de 340,1 kg, o que corresponde aos seguintes indicadores de impacto representados na Tabela 16:

Tabela 16 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material cerâmica utilizado nas paredes interiores do W.C. e da cozinha

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	21,43 E-01
GWP (kg CO ₂ eq)	23,88 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	27,75 E-06
AP (kg SO ₂ eq)	99,65 E-02
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	46,25 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	93,53 E-03
ENR (MJ eq)	40,47 E+02
ER (MJ eq)	12,38 E+01

4.3.7.2. Impacte do cimento cola utilizado para fixar as placas cerâmicas à parede

A área total das paredes coberta por placas é cerca de 25,5 m², o rendimento considerado do cimento cola utilizado é de 4 kg/m², ou seja, a massa de cimento cola utilizada é de 102 kg, a qual tem um impacto apresentado na Tabela 17:

Tabela 17 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao cimento cola utilizado para fixar as placas cerâmicas à parede

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	49,98 E-03
GWP (kg CO ₂ eq)	19,89 E+00
ODP (kg CFC-11 eq)	81,60 E-08
AP (kg SO ₂ eq)	32,13 E-03
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	13,16 E-04
EP (kg PO ₄ eq)	49,67 E-04
ENR (MJ eq)	13,36 E+01
ER (MJ eq)	21,42 E+00

4.3.7.3. Impacte total do revestimento cerâmico das paredes

Somando os resultados da Tabela 16 e da Tabela 17 obtemos o impacto total do revestimento cerâmico das paredes interiores do W.C. e da cozinha, apresentado na seguinte Tabela 18:

Tabela 18 - Impacte total do revestimento cerâmico das paredes interiores do W.C. e da cozinha

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	21,93 E-01
GWP (kg CO ₂ eq)	25,86 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	28,57 E-06
AP (kg SO ₂ eq)	10,29 E-01
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	47,57 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	98,50 E-03
ENR (MJ eq)	41,81 E+02
ER (MJ eq)	14,52 E+01

4.3.8. REVESTIMENTO DAS PAREDES NO INTERIOR DA CASA, NA SALA DE ESTAR, SALA DE LEITURA E NOS DOIS QUARTOS

Nas paredes interiores foi adicionada uma camada de 1 mm de estuque de argamassa de cal e a área total das paredes interiores que foi coberta por este material foi de 89,53 m².

Considerando que o estuque de argamassa de cal tem uma massa específica de 1700 kg/m^3 , a massa de estuque utilizada nas paredes foi então de 152,2 kg, tendo esta o seguinte impacto associado representado na Tabela 19:

Tabela 19 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material estuque de argamassa de cal usado nas paredes interiores

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	20,85 E-02
GWP (kg CO ₂ eq)	91,62 E+00
ODP (kg CFC-11 eq)	31,66 E-07
AP (kg SO ₂ eq)	13,15 E-02
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	59,51 E-04
EP (kg PO ₄ eq)	19,94 E-03
ENR (MJ eq)	49,62 E+01
ER (MJ eq)	49,77 E+00

4.3.9. REVESTIMENTO DAS PAREDES NO EXTERIOR DA CASA

4.3.9.1 Fachadas revestidas com placas de pedra espessas

A área das paredes exteriores coberta por este material é de $52,495 \text{ m}^2$ e a espessura média das placas é de 6 cm.

A massa específica da pedra, neste caso o granito, varia entre 2600 e 3000 kg/m^3 , pelo que vamos considerar 2800 kg/m^3 .

A massa total utilizada, então, de 8819,16 kg e os seus impactos associados estão na Tabela 20:

Tabela 20 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material pedra usado no revestimento exterior das paredes

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	15,96 E+00
GWP (kg CO ₂ eq)	23,19 E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	34,30 E-07
AP (kg SO ₂ eq)	13,76 E+00
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	41,10 E-02
EP (kg PO ₄ eq)	27,60 E-01
ENR (MJ eq)	66,85 E+03
ER (MJ eq)	73,64 E+02

4.3.9.2. Fachadas exteriores rebocadas

A área rebocada nas paredes exteriores foi de cerca de 90,58 m². Considerando a massa específica do reboco 2100 kg/m³ e uma espessura média da camada de 10 mm temos uma massa de reboco de 1902 kg, a qual tem o seguinte impacte associado demonstrado na Tabela 21:

Tabela 21 - Indicadores de impacte ambiental relativos ao material argamassa de cimento

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	93,20 E-02
GWP (kg CO2 eq)	37,09 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	15,22 E-06
AP (kg SO2 eq)	59,91 E-02
POCP (kg C2H4 eq)	12,90 E-06
EP (kg PO4 eq)	48,70 E-06
ENR (MJ eq)	24,92 E+02
ER (MJ eq)	39,94 E+01

4.3.10. TRÊS VARANDAS DA FACHADA SUL

4.3.10.1. Betão Armado

A área total das três varandas construídas é cerca de 4,24 m² e são constituídas por betão armado e placas de pedra.

A espessura de cada camada é cerca de 17 cm, a massa específica do betão armado ronda os 2500 kg/m³, pelo que a massa total de betão armado utilizada nas varandas é de 1802 kg e os seus impactes associados estão na Tabela 22:

Tabela 22 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material betão armado usado nas varandas

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	10,96 E-01
GWP (kg CO ₂ eq)	26,67 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	63,97 E-07
AP (kg SO ₂ eq)	10,02 E-01
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	95,15 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	10,38 E-02
ENR (MJ eq)	22,34 E+02
ER (MJ eq)	13,32 E+00

4.3.10.2. Placas de pedra

A espessura de cada camada é cerca de 3 cm. Considerando, de novo, o valor de 2800 kg/m³ para a massa específica da pedra, temos uma massa total de pedra utilizada nas varandas de 356,16 kg, com um impacto associado representado na Tabela 23:

Tabela 23 - Indicadores de impacto ambiental relativos ao material pedra usado nas varandas

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	64,46 E-02
GWP (kg CO ₂ eq)	93,67 E+00
ODP (kg CFC-11 eq)	12,22 E-06
AP (kg SO ₂ eq)	55,56 E-02
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	16,60 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	11,15 E-02
ENR (MJ eq)	27,00 E+02
ER (MJ eq)	29,74 E+01

4.3.10.3 Guardas em ferro maciço

Estimou-se que as guardas em ferro maciço utilizadas nas varandas têm uma massa de 300 kg, e os seus impactos associados estão na Tabela 24:

Tabela 24 - Indicadores de impacte ambiental relativos ao material ferro usado nas guardas das varandas

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	41,70 E-01
GWP (kg CO ₂ eq)	45,00 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	15,12 E-06
AP (kg SO ₂ eq)	17,31 E-01
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	26,19 E-02
EP (kg PO ₄ eq)	19,56 E-02
ENR (MJ eq)	73,20 E+02
ER (MJ eq)	17,10 E+01

4.3.11. TINTA BRANCA DE BASE AQUOSA USADA NO INTERIOR E EXTERIOR DO EDIFÍCIO

A área total pintada em todo o interior da casa foi de 133,73 m² e no exterior de 26,26 m², sendo que o total pintado foi cerca de 160 m². Considerando que uma lata de 5 litros de tinta dá para pintar uma camada de cerca de 55 m² e que foram aplicadas, em média, cerca de três camadas, temos que a massa de tinta utilizada é de cerca de 43,635 kg e os impactes associados são os da Tabela 25:

Tabela 25 - Indicadores de impacte ambiental relativos ao material tinta aquosa usado para pintar a casa

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	10,34 E-01
GWP (kg CO ₂ eq)	10,73 E+01
ODP (kg CFC-11 eq)	16,10 E-06
AP (kg SO ₂ eq)	73,74 E-02
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	33,69 E-03
EP (kg PO ₄ eq)	18,46 E-02
ENR (MJ eq)	20,86 E+02
ER (MJ eq)	14,53 E+01

4.4. IMPACTE TOTAL DA REABILITAÇÃO DA CASA DAS VARANDINHAS

4.4.1. QUANTIFICAÇÃO DO IMPACTE TOTAL

Após a soma de todos os indicadores de impacto ambiental calculados obtemos, na Tabela 26, o impacto ambiental final, relativo à reabilitação realizada previamente na Casa das Varandinhas:

Tabela 26 - Indicadores de impacto ambiental relativos à totalidade dos materiais e das soluções construtivas aplicadas à casa das varandinhas na sua reabilitação

Indicador de impacto	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	63,40 E+00
GWP (kg CO ₂ eq)	92,01 E+02
ODP (kg CFC-11 eq)	67,20 E-05
AP (kg SO ₂ eq)	39,79 E+00
POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	26,52 E-01
EP (kg PO ₄ eq)	56,00 E-01
ENR (MJ eq)	14,59 E+04
ER (MJ eq)	11,67 E+03

4.4.2. PESO DE CADA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA E MATERIAL NO IMPACTE FINAL DA REABILITAÇÃO DA CASA DAS VARANDINHAS

Na Tabela 27 podemos ver o que representa cada material e solução construtiva adotados aquando da reabilitação realizada na Casa das Varandinhas, em termos de peso no impacto final:

Tabela 27 - Peso dos impactes de cada solução construtiva e material utilizados no impacte global associado à reabilitação da Casa das Varandinhas.

Material ou solução construtiva	ADP(%)	GWP(%)	ODP(%)	AP(%)	POCP(%)	EP(%)	ENR(%)	Média Impactes negativos	ER (% do Total)
Laje real	19,1	32,1	18,7	16	19,6	18,3	17,2	20,1	9,5
Placas de gesso	1,6	1,5	2,3	1,1	0,7	1,2	1,6	1,4	1,1
Estrutura do teto falso	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0
Janelas	21,1	21	53	28,6	42,3	16,8	16,8	28,5	1,2
Portadas	14,1	1,5	8,4	3	2,7	0,7	1,5	4,6	0
Pavimento cerâmico	2,3	2	2,8	1,7	1,2	1,1	1,9	1,9	0,8
Placas de madeira	0,2	-1,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0	13,7
Poliuretano	0,2	0,1	0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
Material cerâmico paredes	3,5	2,8	4,3	2,6	1,8	1,7	2,9	2,8	1,2
Estuque	0,3	1	0,5	0,3	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4
Pedra paredes exterior	25,2	25,2	0	34,6	15,5	48,7	45,8	27,9	63,1
Reboco paredes exterior	1,5	4	2,3	1,5	0	0	1,7	1,6	3,4
Betão varandas	1,7	2,9	1	2,5	3,6	1,8	1,5	2,1	0,1
Pedra varandas	1	1	1,8	1,4	0,6	2	1,9	1,4	2,5
Guardas varandas	6,6	4,9	2,3	4,4	9,9	3,4	5	5,2	1,5
Tinta pintura	1,6	1,2	2,4	1,9	1,3	3,3	1,4	1,9	1,2

Considerando que todos os 7 indicadores de impacto ambiental negativo têm o mesmo peso e importância, com base nesta tabela podemos ver que a laje aligeirada construída para substituir o piso em madeira representa uma percentagem média do impacto negativo final desta reabilitação de 20,1 %, representando 9,5% da energia renovável incorporada total desta reabilitação.

No caso dos vãos envidraçados, estes por si só representam 28,5 % do impacto total, sendo que foram ainda adicionadas portadas em alumínio que contribuem em 4,6 % para este impacto total.

Há ainda o caso das placas de pedra utilizadas para revestimento de algumas das fachadas do exterior, que representam uma média de 27,9 % do impacto negativo total, apesar de esta solução representar 63,1% da energia renovável incorporada total desta reabilitação.

Estas soluções referidas representam, em conjunto, 81,1 % do impacto final, sendo que será de interesse máximo apresentar aqui alternativas para as mesmas.

Vemos que o teto falso, com sua estrutura de suporte, representa apenas 1,5 %, sendo que a maior parte deste valor é devido às placas de gesso utilizadas. Das alternativas possíveis para as placas do teto falso, presentes na base de dados do livro, como o PVC, painéis OSB e elementos metálicos de aço ou alumínio, o caso das placas de gesso cartonado já é o que apresenta melhores indicadores de impacto, sendo que há apenas uma alternativa, significativamente melhor, que é o uso de placas de madeira serrada.

O soalho flutuante, com camada resiliente de poliuretano, apresenta impactos negativos quase nulos, além da energia renovável incorporada que apresenta, impacto este naturalmente positivo, que representa 13,8% do total, a grande maioria deste valor devido à madeira. Sendo esta claramente uma solução ambientalmente sustentável, vamos mantê-la nas nossas recomendações.

A tinta branca aquosa, utilizada para as pinturas da casa, teve um impacto de 1,9 %, no entanto esta já é a alternativa possível mais sustentável de acordo com a tabela de impactos do livro, em comparação à outra opção de tinta sintética, considerando que estas têm aproximadamente o mesmo peso.

Quanto às varandas construídas, estas representam 8,7 % do impacto total, sendo que o material ferro, constituinte das guardas das varandas, representa 5,2 % do impacto total.

O betão armado aqui utilizado é conveniente, pois as varandas estão expostas ao exterior, o que faz da madeira um material pouco conveniente para ser utilizado devido ao seu enfraquecimento estrutural quando exposta à água, apesar de este ser um material ambientalmente mais sustentável.

Quanto aos restantes materiais e soluções, não vão ser aqui apresentadas soluções, pois o seu impacto não é muito significativo e o seu uso será conveniente, pois as duas casas em estudo estão muito próximas e pertencem ao mesmo proprietário.

4.5. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS QUE PERMITAM A REDUÇÃO DOS IMPACTES AMBIENTAIS DA REABILITAÇÃO REALIZADA

Há várias possibilidades alternativas de materiais ou soluções construtivas que podem ser aplicadas na reabilitação da Casa do Manel, com vista a reduzir o seu impacto ambiental em comparação ao caso da reabilitação já realizada da Casa das Varandinhas. Contudo devemos ter em atenção que a

funcionalidade do material ou solução construtiva adotados deve ser, na medida do possível, semelhante e o seu custo também. No entanto, neste caso estamos apenas a analisar a vertente ambiental.

Temos de ter em conta, também, que cada casa é um caso diferente e as soluções construtivas e materiais adotados podem também ser diferentes, em função das necessidades e características da casa analisada.

Quanto às soluções construtivas, como foi referido anteriormente, os seus impactes estão representados no livro de ACV por metro quadrado de solução construtiva.

No entanto, no caso dos materiais, apesar da indicação que vai ser feita de quais os materiais ambientalmente mais sustentáveis, os seus impactes estão representados no livro de ACV por kg de material. A massa dos materiais utilizados vai, claro, variar por cada metro quadrado em que este é aplicado, consoante o tipo de material usado, influenciando o cálculo do seu impacto final na obra de reabilitação.

A análise de impactes dos materiais aqui feita diz respeito apenas à massa de 1kg de material usado.

4.5.1. ALTERNATIVA PARA A LAJE ALIGEIRADA (20,1% DO IMPACTE GLOBAL DA REABILITAÇÃO)

Na Casa do Manel está prevista a construção de uma laje para substituir o chão em madeira, que apresenta fracas condições de utilização, à semelhança do que foi feito anteriormente na Casa das Varandinhas, onde a solução adotada foi um pavimento aligeirado de vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos.

No que diz respeito à laje, uma opção possível a adotar, que apresenta uma redução significativa nos seus impactes, é um pavimento de painéis alveolares.

Na seguinte Figura 49 podemos ver a descrição desta solução construtiva e o seu corte esquemático, segundo o livro de AVC:

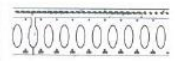
Pav 7		Pavimento composto por painéis alveolares com 20cm de altura total contendo uma camada de betão complementar de 4cm.
-------	---	--

Figura 49 - Descrição da solução construtiva de pavimento com painéis de betão alveolares e corte esquemático, segundo o livro [1]

Na Figura 50 temos um exemplo de painéis alveolares em betão e na Figura 51 os impactes associados ao uso desta solução construtiva, assim como os seus materiais constituintes:



Figura 50 - Exemplo de painéis alveolares

Solução construtiva	Pavimento de painéis alveolares sem isolante térmico								Ref: Pav 7
	Fase de ciclo de vida	Categorias de impacto ambiental de LCA						Energia incorporada	
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	Cradle-to-gate	1,76E-01	5,11E+01	1,70E-06	1,02E-01	8,07E-03	1,78E-02	3,64E+02	6,02E+00
	Fim de vida	2,11E-01	3,04E+01	4,92E-06	1,46E-01	5,43E-03	3,03E-02	4,85E+02	2,91E+00
	Total	3,87E-01	8,15E+01	6,62E-06	2,48E-01	1,35E-02	4,81E-02	8,49E+02	8,93E+00
Comentários:		Materiais Considerados: Betão (inclui betão nos painéis, betão complementar e nas juntas de solidarização) e aço (inclui armadura dos painéis e armadura de distribuição)							

Figura 51 - Impactes associados à solução construtiva de pavimento com painéis alveolares

Analisando e comparando as duas soluções de laje aligeirada e pavimento com painéis alveolares, podemos obter as percentagens de alteração de impactes, bastante significativas e quase todas positivas, associadas à adoção desta alternativa em vez da laje aligeirada, estando estas representadas em percentagem na

Tabela 28:

Tabela 28 – Percentagens de redução dos indicadores de impacto associadas à adoção da solução construtiva de pavimento com painéis alveolares de betão em vez da solução da laje aligeirada real

Indicador de impacto	Percentagem de alteração do impacto (%)	Esta alteração é ambientalmente favorável?
ADP	-21,7	SIM
GWP	-6,7	SIM
ODP	-26,9	SIM
AP	-13,6	SIM
POCP	-16,4	SIM
EP	-7,8	SIM
ENR	-22,0	SIM
ER	-70,7	NÃO

Podemos, então, concluir que esta é uma solução significativamente mais sustentável, apresentando alterações favoráveis em quase todos os indicadores de impacto, com uma média de redução nos impactos negativos de 16,4 %, o que representa uma redução de 3,3% no impacto negativo total da reabilitação da Casa das Varandinhas.

Quanto à redução de 70,7 % do indicador relativo à energia renovável incorporada (ER), apesar de uma redução, esta é uma alteração negativa, pois, obviamente do ponto de vista ambiental, o interesse é que este valor seja o mais próximo possível do valor 100%. No entanto, no geral a solução dos painéis alveolares é bastante mais sustentável.

4.5.2. ALTERNATIVAS PARA OS VÃOS ENVIDRAÇADOS EM VIDRO DUPLO COM CAIXILHARIA EM ALUMÍNIO (28,5% DO IMPACTE GLOBAL DA REABILITAÇÃO)

Havendo várias possibilidades de tipos de vãos envidraçados, vamos compará-las com a solução que foi implementada na reabilitação da Casa das Varandinhas, a qual é constituída por vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio, com folhas, interior e exterior, com 4 mm de espessura e uma caixa de ar entre elas de 22 mm, como representado em 4.3.4. Janelas de vidro duplo com caixilharia em alumínio e portadas em alumínio.

As alternativas a comparar são as seguintes:

- Vão envidraçado com caixilharia em PVC e vidro duplo;
- Vão envidraçado com caixilharia em madeira e vidro duplo (10mm caixa de ar);
- Vão envidraçado com caixilharia em madeira pelo interior e alumínio revestido pelo exterior com vidro duplo;
- Vão envidraçado com caixilharia em PVC pelo exterior e madeira revestida pelo interior com vidro duplo;
- Vão envidraçado com caixilharia em PVC pelo interior e alumínio revestido pelo exterior com vidro duplo.

4.5.2.1. Vão envidraçado com caixilharia em PVC e vidro duplo (Env4)

Na Tabela 29 podemos ver a redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em PVC, em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio.

Tabela 29 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em PVC em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio

Indicador de impacte	Percentagem de alteração do impacte (%)	Esta alteração é ambientalmente favorável?
ADP	-50,2	SIM
GWP	-64,1	SIM
ODP	-95,7	SIM
AP	-51,4	SIM
POCP	-83,6	SIM
EP	-45,7	SIM
ENR	-44,5	SIM
ER	-36,1	NÃO

Comentários:

A adoção desta solução representa uma redução de cerca de 62,2 % do impacte da solução inicial, o que corresponde a 17,7% do impacte final.

4.5.2.2. Vão envidraçado com caixilharia em madeira e vidro duplo (Env 7)

Na Tabela 30 podemos ver as percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em madeira, em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio.

Tabela 30 - Percentagens de redução dos indicadores de impacto associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em madeira em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio

Indicador de impacto	Percentagem de alteração do impacto (%)	Esta alteração é ambientalmente favorável?
ADP	-79,1	SIM
GWP	-99,1	SIM
ODP	-88,3	SIM
AP	-74,7	SIM
POCP	-84,3	SIM
EP	-74,8	SIM
ENR	-78,7	SIM
ER	-66,6	NÃO

Comentários:

Esta solução corresponde a uma redução do impacto da solução inicial de cerca de 64,1% o que equivale a uma redução do impacto final de 18,3%

4.5.2.3. Vão envidraçado com caixilharia em madeira pelo interior e alumínio revestido pelo exterior com vidro duplo (Env 10)

Na Tabela 31 - Percentagens de redução dos indicadores de impacto associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em madeira pelo interior e alumínio revestido pelo exterior, em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio.

Tabela 31 - Percentagens de redução dos indicadores de impacto associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em madeira pelo interior e alumínio revestido pelo exterior em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio

Indicador de impacto	Percentagem de alteração do impacto (%)	Esta alteração é ambientalmente favorável?
ADP	-65,9	SIM
GWP	-81,1	SIM
ODP	-84,0	SIM
AP	-61,5	SIM
POCP	-73,8	SIM
EP	-61,1	SIM
ENR	-65,5	SIM
ER	-52,9	NÃO

4.5.2.4. Vão envidraçado com caixilharia em PVC pelo exterior e madeira revestida pelo interior com vidro duplo (Env 13)

Na Tabela 32 podemos ver as percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em PVC pelo exterior e madeira revestida pelo interior, em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio

Tabela 32 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em PVC pelo exterior e madeira revestida pelo interior em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio

Indicador de impacte	Percentagem de alteração do impacte (%)	Esta alteração é ambientalmente favorável?
ADP	-28,7	SIM
GWP	-56,2	SIM
ODP	-94,8	SIM
AP	-33,4	SIM
POCP	-77,4	SIM
EP	-24,3	SIM
ENR	-20,4	SIM
ER	-17,2	NÃO

4.5.2.5. Vão envidraçado com caixilharia em PVC pelo interior e alumínio revestido pelo exterior com vidro duplo (Env 16)

Na Tabela 33 podemos ver as percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em PVC pelo interior e alumínio revestido pelo exterior, em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio.

Tabela 33 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de vão envidraçado de vidro duplo com caixilharia em PVC pelo interior e alumínio revestido pelo exterior em vez de vãos envidraçados de vidro duplo com caixilharia em alumínio

Indicador de impacte	Percentagem de alteração do impacte (%)	Esta alteração é ambientalmente favorável?
ADP	-31,6	SIM
GWP	-44,6	SIM
ODP	-88,8	SIM
AP	-33,4	SIM
POCP	-68,1	SIM
EP	-26,9	SIM
ENR	-26,0	SIM
ER	-20,0	NÃO

Comentários:

Estas três últimas opções de caixilharias híbridas apresentadas - a madeira pelo interior e alumínio revestido pelo exterior, PVC pelo exterior e madeira revestida pelo interior e também PVC pelo interior e alumínio revestido pelo exterior -, apresentam reduções do impacte final significativas. No entanto, o uso da madeira não é conveniente no caso dos vãos envidraçados devido à sua rápida degradação e o alumínio tem impactes superiores ao PVC, para além das caixilharias híbridas serem menos convencionais.

4.5.3. ALTERNATIVAS PARA O USO DO MATERIAL PEDRA NO REVESTIMENTO DAS PAREDES DO EXTERIOR (27,9%)

Neste caso a utilização de um material pouco habitual poderá descaracterizar a arquitetura da habitação, dado que a pedra é um material frequentemente usado no exterior das habitações da localização considerada.

Em relação ao revestimento exterior em pedra, e uma vez que as placas são bastante espessas, vamos recomendar apenas uma redução para metade da sua espessura média, que será agora de 3 cm, o que vai reduzir a massa deste material para metade e consequentemente haverá uma redução dos impactes negativos de 50%, o que se traduz numa redução do impacte global negativo da reabilitação da Casa das Varandinhas de cerca de 14%, valor que é naturalmente muito significativo.

4.5.4. ALTERNATIVAS PARA PORTADAS EM ALUMÍNIO (4,6%)

Fazendo os cálculos da massa por m² de solução construtiva, temos que:

- Portadas em alumínio:

Considerando o valor utilizado em 4.3.4. Janelas de vidro duplo com caixilharia em alumínio e portadas em alumínio. - de 2700 kg/m³, para a massa específica do material alumínio e para portadas com uma média de 1,6 mm de espessura, temos que 1 m² de portada de alumínio tem de massa cerca de 4,32 kg , à qual estão associados os impactes representados na Tabela 34:

Tabela 34 - Impactes das portadas de alumínio por m²

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	0,1218
GWP (kg CO2 eq)	18,49
ODP (kg CFC-11 eq)	0,000007949
AP (kg SO2 eq)	0,1642
POCP (kg C2H4 eq)	0,009634
EP (kg PO4 eq)	0,005227
ENR (MJ eq)	294,6
ER (MJ eq)	0

- Portadas em PVC rígido:

Considerando o valor aproximado de 1425 kg/m³ para a massa específica do PVC rígido, e mantendo a espessura média da portada como 1,6mm, temos que, para 1 m² desta solução construtiva, uma massa de PVC no valor de 2,28 kg, à qual estão associados os impactes representados na Tabela 35:

Tabela 35 - Impactes das portadas em PVC por m²

Indicador de impacte	Valor respetivo
ADP (kg Sb eq)	0,05153
GWP (kg CO2 eq)	4,492
ODP (kg CFC-11 eq)	0,00000006475
AP (kg SO2 eq)	0,01220
POCP (kg C2H4 eq)	0,0007114
EP (kg PO4 eq)	0,001731
ENR (MJ eq)	106,9
ER (MJ eq)	2,130

Fazendo, agora a comparação entre estas duas soluções podemos determinar as alterações de impactes por m² de solução, relativas ao uso de portadas de PVC em vez de portadas de alumínio. Os resultados estão expressos na Tabela 36:

Tabela 36 - Percentagens de redução dos indicadores de impacte associadas à adoção da solução construtiva de portadas em PVC em vez de portadas em alumínio.

Indicador de impacte	Percentagem de alteração do impacte (%)	Esta alteração é ambientalmente favorável?
ADP	-57,7	SIM
GWP	-75,7	SIM
ODP	-99,9	SIM
AP	-92,6	SIM
POCP	-92,6	SIM
EP	-66,9	SIM
ENR	-63,7	SIM
ER	Aumento	SIM

Em média a redução dos impactes negativos, neste caso, é de 78,4 %, o que se traduz numa redução de cerca de 3,6 % do impacte total da reabilitação da Casa das Varandinhas.

Neste capítulo chegámos à conclusão que algumas das soluções construtivas aplicadas na reabilitação da Casa das Varandinhas têm alternativas, que nos permitem reduzir substancialmente o seu impacte ambiental, de acordo com a análise do ciclo de vida do edificio numa abordagem “Cradle-to-Gate”, proveniente do livro de ACV de análise do impacto ambiental de soluções construtivas.

Estas mesmas soluções poderão ser adotadas na reabilitação da Casa do Manel, uma vez que esta casa apresenta condições semelhantes às que a Casa das Varandinhas tinha antes de ser reabilitada.

Em suma, as alterações mais recomendadas, a realizar numa reabilitação, à semelhança da que foi efetuada na Casa das Varandinhas, são, o uso de pavimento com painéis alveolares em betão, com armaduras de distribuição em vez de laje aligeirada, o uso de envidraçados com caixilharia em PVC, em vez de alumínio, o uso de portadas de PVC rígido, em vez de alumínio e, também, a redução para metade da espessura das placas de pedra do revestimento das paredes exteriores. Todas estas alterações, em conjunto, representariam uma redução do impacte negativo global da reabilitação da Casa das Varandinhas de 38,6 %, valor que é muito significativo.

5

ANÁLISE DO RISCO DE SOBREAQUECIMENTO NAS CASAS EM ESTUDO

5.1. INTRODUÇÃO AO PROGRAMA LESOCOOL

A análise do risco de sobreaquecimento nas divisões de um edifício é fundamental para percebermos o seu desempenho a nível de conforto térmico de Verão.

O conforto térmico é um conceito bastante complexo, porque pode ser influenciado por um vasto conjunto de parâmetros. Contudo, pode ser entendido como um conjunto de condições para que uma pessoa se possa sentir confortável num ambiente onde a mesma não deseje que seja mais quente nem mais frio.

A norma europeia ISO 7730, estabelece o conforto térmico como um estado psicológico que expressa a satisfação com o ambiente térmico, sendo este difícil de se expressar por parâmetros físicos [21].

Os fatores com os quais o conforto térmico está relacionado são vários:

- Taxa de metabolismo;
- Vestuário utilizado;
- Velocidade do ar;
- Temperatura radiante média;
- Humidade relativa;
- Temperatura ambiente;

O programa LESOCOOL, que vai ser utilizado neste capítulo para analisar algumas das divisões da Casa das Varandinhas e da Casa do Manel, apenas nos vai fornecer dados acerca do fluxo do ar ventilado e a temperatura ambiente do interior, a qual é estimada com base em vários dados fornecidos, tais como dados térmicos relativos ao concelho de Baião, onde se situam estes edifícios. Quanto à humidade relativa, esta vai ser analisada num outro capítulo para um período de tempo durante a estação de aquecimento.

O programa LESOCOOL realiza simulações num compartimento virtual, fornecendo-nos dados acerca do potencial de arrefecimento e do risco de sobreaquecimento de um compartimento com ventilação,

natural ou mecânica, mostrando a evolução da temperatura, o caudal do ar e a transferência de calor da ventilação. Pode, também, ter em consideração os ganhos de calor por convecção ou por radiação.

O programa baseia-se então em vários dados que são inseridos, tais como:

- Ganhos solares relativos à soma de todas as orientações que contêm janelas, calculadas com o fator solar, área, e radiações incidentes de cada vão envidraçado;
- Materiais constituintes das paredes, chão e teto e respetivas dimensões;
- Aberturas e vãos existentes em todas as paredes da divisão tais como portas e janelas, e suas respetivas dimensões;
- Tipo de ventilação mecânica ou natural, seus caudais e horário de funcionamento;
- Altitude do local;
- Temperaturas do exterior ao longo dos dias simulados;
- Temperatura inicial no interior;
- Coeficiente médio de transmissão térmica U relativo aos envidraçados da divisão analisada.

Após a realização das simulações, o programa fornece-nos resultados relativos à variação da temperatura interior ao longo do período analisado, tal como o caudal da renovação horária, a caso haja ventilação.

Vão ser utilizados dados de temperaturas exteriores relativos a três dos dias mais quentes registados num período nominal relativo ao concelho de Baião, que são os dias 24, 25 e 26 de agosto, perfazendo estes um total de 72 horas, que vão ser aqui analisadas. Podemos ver os valores das temperaturas relativos a estes três dias analisados na Figura 52:

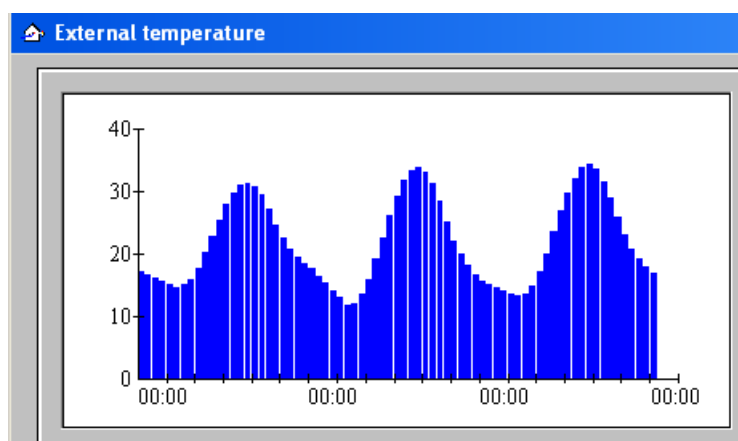


Figura 52 - Temperaturas externas relativas ao período de 24 a 26 de agosto

No caso de estudo da Casa das Varandinhas vão ser realizadas um total de dez simulações, em duas divisões com características diferentes:

- 5 Simulações relativas ao quarto de casal;
- 5 Simulações relativas ao quarto singular.

No caso de estudo da Casa do Manel vão ser realizadas um total de 5 simulações:

- 3 Simulações relativas ao quarto de casal;
- 2 Simulações relativas ao quarto 2.

Em cada simulação vão ser analisados casos diferentes, com ou sem ventilação natural existente e com as portadas abertas ou fechadas, de modo a sabermos qual a eficácia destes elementos contra o sobreaquecimento, caso este exista.

A temperatura interior inicial que vai ser inserida no programa é a relativa ao máximo recomendável para conforto térmico no verão, que é de 25°C [22], sendo que esta vai ser a temperatura que vamos considerar como máxima para que haja conforto térmico interior.

5.2. SÍNTESE DAS SIMULAÇÕES A REALIZAR E SUAS CONDIÇÕES

Na Tabela 37 podemos ver quais as simulações a realizar na Casa das Varandinhas, e as suas respetivas condições e localizações.

Tabela 37 – Simulações a realizar na Casa das Varandinhas e suas condições

LOCALIZAÇÃO	SIMULAÇÃO	CONDIÇÕES DE USO DOS VÃOS E PORTADAS
QUARTO DE CASAL	A1	<ul style="list-style-type: none"> • Janelas fechadas • Ventilação natural inexistente • Portadas abertas
	B1	<ul style="list-style-type: none"> • Janelas fechadas • Ventilação natural inexistente • Portadas fechadas
	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Janelas parcialmente abertas de noite • Ventilação natural existente de noite • Portadas abertas durante horas de sol
	D1	<ul style="list-style-type: none"> • Janelas sempre fechadas • Ventilação natural inexistente • Uma portada fechada em cada janela durante o dia, cobrindo metade da área em cada vão envidraçado
	E1	<ul style="list-style-type: none"> • Janelas parcialmente abertas de noite • Ventilação natural existente de noite • Uma portada fechada em cada janela durante o dia, cobrindo metade da área em cada vão envidraçado
QUARTO INDIVIDUAL	A2	Iguais a A1
	B2	Iguais a B1
	C2	Iguais a C1
	D2	Iguais a D1
	E2	Iguais a E1

E na Tabela 38 podemos ver quais as simulações a realizar na Casa do Manel, e as suas respetivas condições e localizações.

Tabela 38 - Simulações a realizar na Casa do Manel e suas condições

LOCALIZAÇÃO	SIMULAÇÃO	CONDIÇÕES DE USO DOS VÃOS
QUARTO DE CASAL	A3	<ul style="list-style-type: none"> Janelas fechadas Ventilação natural inexistente
	B3	<ul style="list-style-type: none"> Janelas parcialmente abertas de noite Ventilação natural noturna existente
	C3	<ul style="list-style-type: none"> Janelas parcialmente abertas de noite Ventilação noturna existente Incluem portadas iguais às da Casa das Varandinhas, uma portada é fechada durante o dia.
QUARTO INDIVIDUAL	A4	<ul style="list-style-type: none"> Janelas sempre fechadas Portadas interiores de madeira abertas Ventilação natural inexistente
	B4	<ul style="list-style-type: none"> Janelas sempre fechadas Portadas interiores de madeira fechadas Ventilação natural inexistente

5.3. SIMULAÇÕES NA CASA DAS VARANDINHAS

5.3.1. QUARTO DE CASAL

Começando pelo quarto de casal, cuja planta está apresentada na Figura 53, esta divisão contém duas paredes em pedra, ambas com um vão envidraçado, mas com diferentes dimensões, duas paredes interiores de tijolo simples, uma delas com uma porta, o pavimento é de madeira e o teto de gesso cartonado. As janelas são oscilo-batentes, de vidro duplo e caixilharia em alumínio com corte térmico, sendo que o valor do Coeficiente de Transmissão Térmica U, fornecido pelo ITE 50 [23], é $2,3 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, considerando que há ocupação noturna neste local.

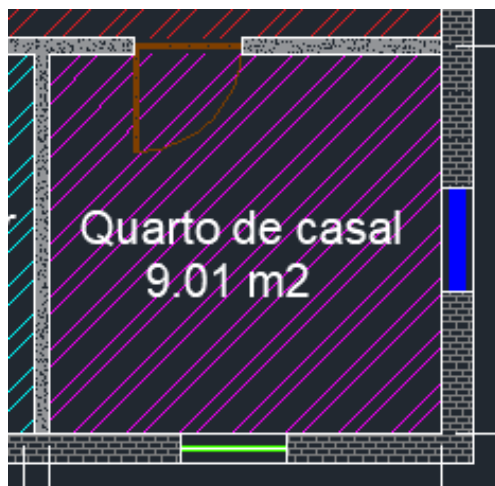


Figura 53 - Representação do quarto de casal da Casa das Varandinhas no programa AUTOCAD

5.3.1.1. Simulação A1

A primeira simulação, designada por simulação A1, é feita com as seguintes condições:

- Janelas sempre fechadas, ou seja, a ventilação natural é inexistente;
- Portadas sempre totalmente abertas, ou seja o fator solar é o relativo aos envidraçados, e neste caso o seu valor é 0,75 , determinado segundo o Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 do Decreto -Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto [24];

Esta divisão recebe radiação solar proveniente de Sul e de Este. Podemos ver o gráfico dos ganhos solares em W, relativos às horas dos três dias analisados, que foram calculados com base nos dados das radiações solares de um período nominal relativas ao concelho de Baião, e estão na Figura 54:

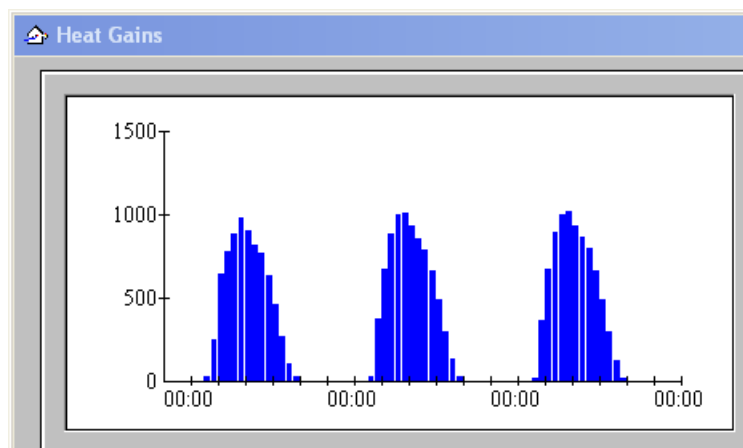


Figura 54 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação A1

Quanto aos resultados finais desta simulação, estes estão representados no gráfico da Figura 55, onde podemos ver as temperaturas do ar no interior, relativas às diferentes horas nos dias analisados:

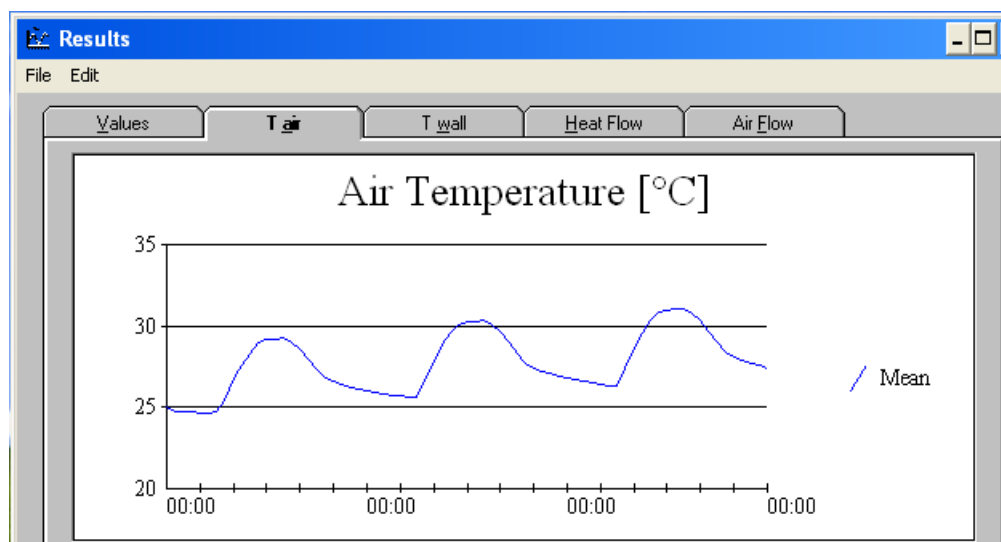


Figura 55- Resultados da simulação A1

Comentários:

Podemos observar que há sobreaquecimento durante praticamente todo o período analisado, a situação foi piorando ao longo dos três dias com o aumento das temperaturas médias diárias, chegando a temperatura do interior a valores máximos na ordem dos 32 °C no terceiro dia. Esta é uma situação a evitar, pois a divisão neste caso torna-se muito desconfortável.

5.3.1.2. Simulação B1

Para testar a eficácia da solução construtiva adotada na Casa das Varandinhas, relativa às portadas em alumínio de cor branca instaladas nos vãos envidraçados, vamos realizar a Simulação B1, tendo esta as seguintes condições:

- Janelas sempre fechadas, ou seja, a ventilação natural é ainda inexistente;
- Portadas estão agora sempre fechadas, sendo que o fator solar desce de 0,75 para o valor de 0,04 correspondente a persianas réguas metálicas cor clara para vidro duplo [24].

Como o fator solar diminuiu, com uma redução de cerca de 94,7 %, os ganhos solares vão também ser menores de forma diretamente proporcional, sendo agora os representados na Figura 56:

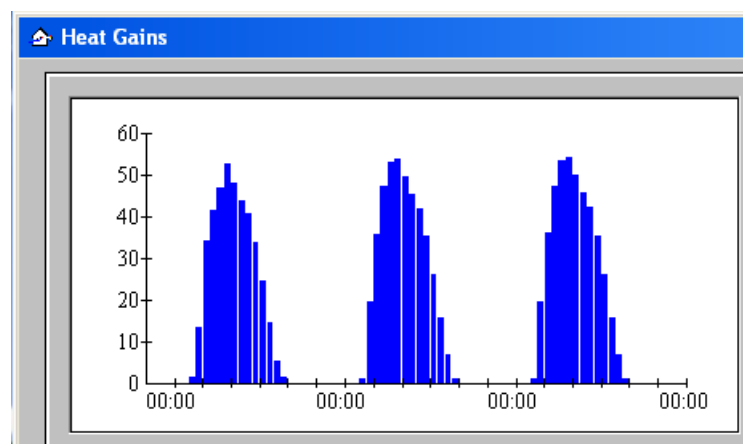


Figura 56 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação B1

Os resultados finais desta simulação B1 relativos às temperaturas do ar no interior estão representados no gráfico da Figura 57:

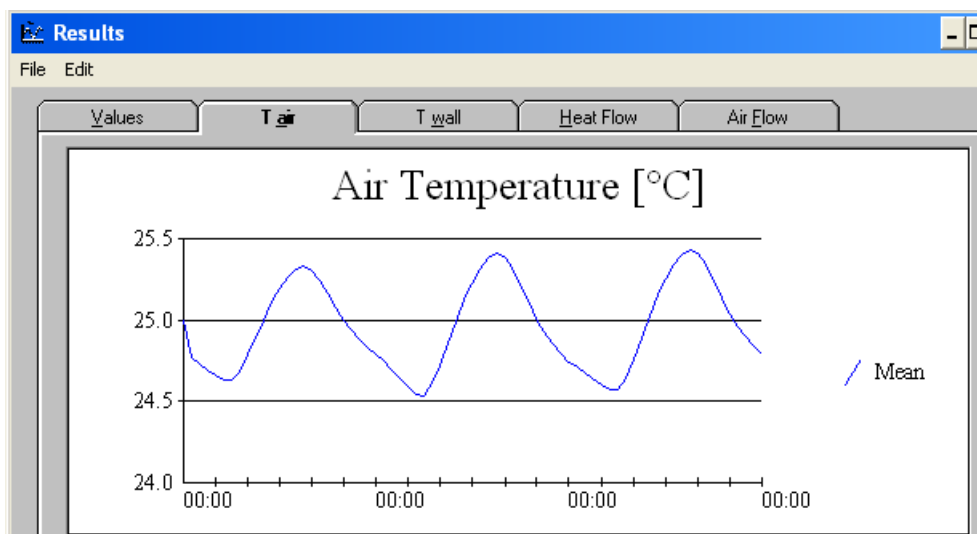


Figura 57 - Resultados da simulação B1

Comentários:

Vemos, agora, que o sobreaquecimento é praticamente inexistente, sendo que a temperatura do interior varia muito pouco, oscilando cerca 0,5 °C. Isto demonstra que estas portadas exteriores brancas têm uma eficácia muito grande em diminuir os ganhos solares e consequentemente manter a temperatura interior constante. Com esta solução vemos, também, que as temperaturas horárias não variam muito entre os três dias analisados. No entanto, este caso não corresponde a uma realidade de ocupação da casa, uma vez que com as portadas fechadas entra muito pouca luz no quarto, elemento que é certamente necessário quando ocupamos um quarto, uma vez que havendo luz natural disponível não vamos querer gastar, desnecessariamente, energia para produzir luz artificial durante o dia. É recomendável, por isso, que, no caso dos quartos, fechemos as portadas exteriores durante o dia, caso não os estejamos a utilizar, para diminuirmos os ganhos solares e subidas da temperatura interior no quarto.

5.3.1.3. Simulação C1

De forma a reproduzir uma situação mais conveniente, no caso desta casa estar a ser ocupada, então realizou-se a Simulação C1 com as seguintes condições:

- Janelas parcialmente abertas com uma área eficaz de ventilação correspondente a 4% da sua área total, durante o período de ganhos solares nulos, das 20 h às 5 h, sendo agora a ventilação natural existente na casa;
- Portadas sempre abertas durante as horas de sol para permitir a entrada total de luz natural para a divisão.

Os ganhos solares vão ser os mesmos que no caso da Simulação A1, já apresentados anteriormente na Figura 54. Vamos, portanto, ver nesta simulação C1 qual o efeito que a ventilação natural vai ter e qual a sua eficácia quanto ao arrefecimento da casa. Os resultados estão representados na Figura 58:

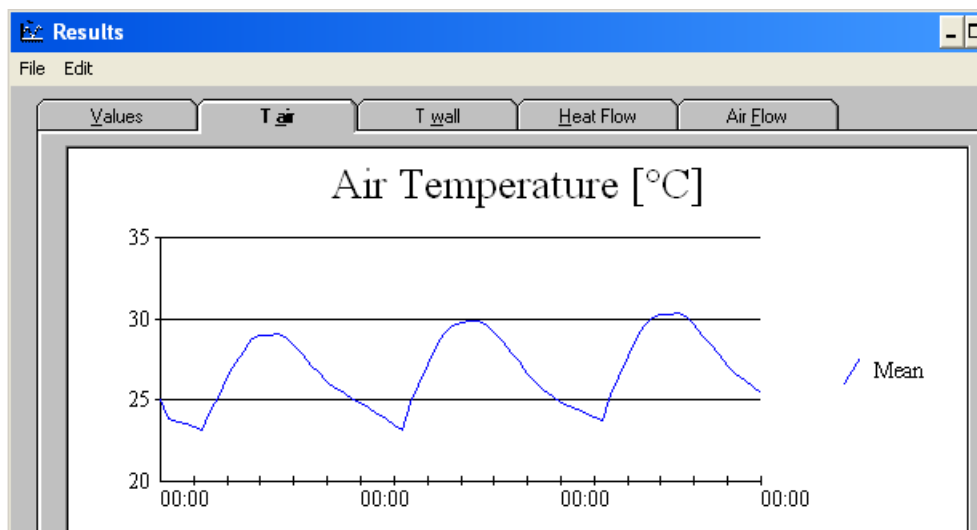


Figura 58 - Resultados da simulação C1

Comentários:

Com base neste gráfico, verificamos que a ventilação natural é bastante eficaz no que diz respeito ao arrefecimento da divisão, sendo que no período noturno, que em princípio é quando os ocupantes mais utilizam o quarto, para dormir ou simplesmente por lazer, a temperatura mantém-se sempre abaixo ou ligeiramente acima do nível de conforto térmico de 25 °C. No entanto, mais ou menos a partir das 6 h da manhã, a temperatura excede o limite máximo de conforto, começando a subir até valores muito altos, que atingem cerca de 31 °C no terceiro dia. Esta situação vai-se agravando ao longo dos três dias em análise. Foi também aqui tido em conta o fluxo de ar horário provocado pela ventilação natural, sendo este um dado que nos é, de igual modo, fornecido pelo programa, como referência para o conforto interior. Definiu-se um caudal máximo relativo a quatro vezes o volume do compartimento em análise e, neste compartimento, esse valor máximo é de cerca de 90 m³/h. Podemos ver o gráfico de fluxo de ar horário relativo a esta Simulação C1 na Figura 59:

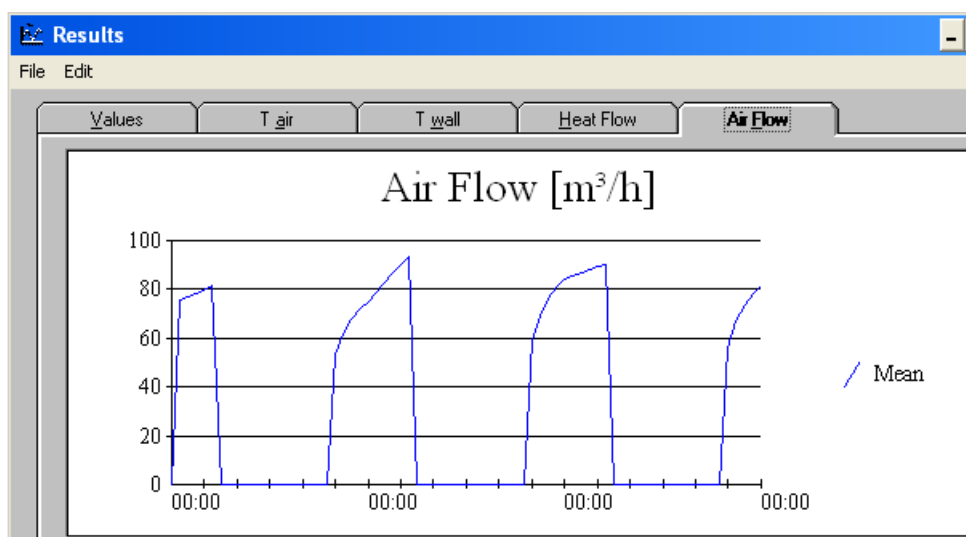


Figura 59 - Gráfico de fluxo de ar horário relativo à Simulação C1

Observamos, então, que o valor máximo de fluxo de ar praticamente nunca é ultrapassado, sendo que é de notar que este fator é diretamente afetado pela percentagem de abertura das janelas, que neste caso foi de 4%.

5.3.1.4. Simulação D1

De forma a melhorar o conforto térmico durante o dia, sem eliminar totalmente a entrada de luz natural, vamos realizar uma Simulação D1, com as seguintes condições:

- Janelas sempre fechadas não permitindo qualquer ventilação natural;
- Apenas uma portada fechada em cada janela, cobrindo metade da área em cada vão envidraçado, esta situação equivale a uma redução do fator solar do vão de 0,75 para 0,395 [24].

Neste caso, os ganhos solares sofrem uma redução de cerca de 47,3%, estando estes representados na seguinte Figura 60:

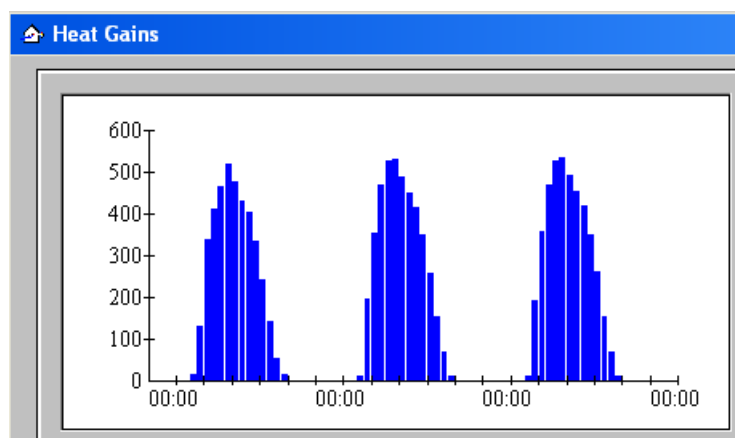


Figura 60 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação D1

Assim, verificamos que, com apenas uma portada fechada, a luz natural entra no quarto, tornando-o mais confortável para ocupar. Com os resultados obtidos, podemos ver qual o efeito causado por esta ação de fechar apenas uma portada, na Figura 61:

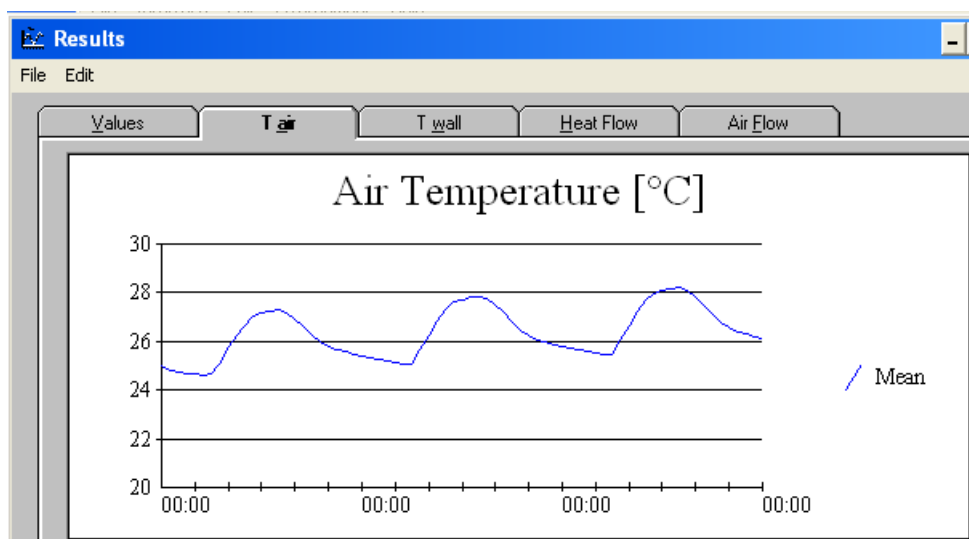


Figura 61 - Resultados da simulação D1

Comentários:

Podemos observar que, em relação à situação semelhante da Simulação A, o gráfico das temperaturas interiores é muito semelhante, na sua forma, mas as temperaturas diminuem, em média, 2 °C, o que demonstra que esta ação de fechar uma portada é bastante eficaz, no sentido de mitigar o efeito do sobreaquecimento. No entanto, neste caso a temperatura interior continua, na maior parte do tempo, num valor indesejado, em especial durante o período diurno.

5.3.1.5. Simulação E1

Na Simulação E1 vamos testar uma combinação dos fatores considerados anteriormente:

- Janelas parcialmente abertas, com uma área eficaz de ventilação correspondente a 4 % da sua área, durante o período de ganhos solares nulos, ou seja, das 20 h às 5 h, com a ventilação que existe na casa;
- Apenas uma portada fechada em cada janela, cobrindo metade da área em cada vão envidraçado (redução do fator solar do vão de 0,75 para 0,395 [24]).

Os ganhos solares são os mesmos que os relativos ao caso da simulação D1, já apresentados na Figura 60. Os resultados desta Simulação E1 são os apresentados na Figura 62:

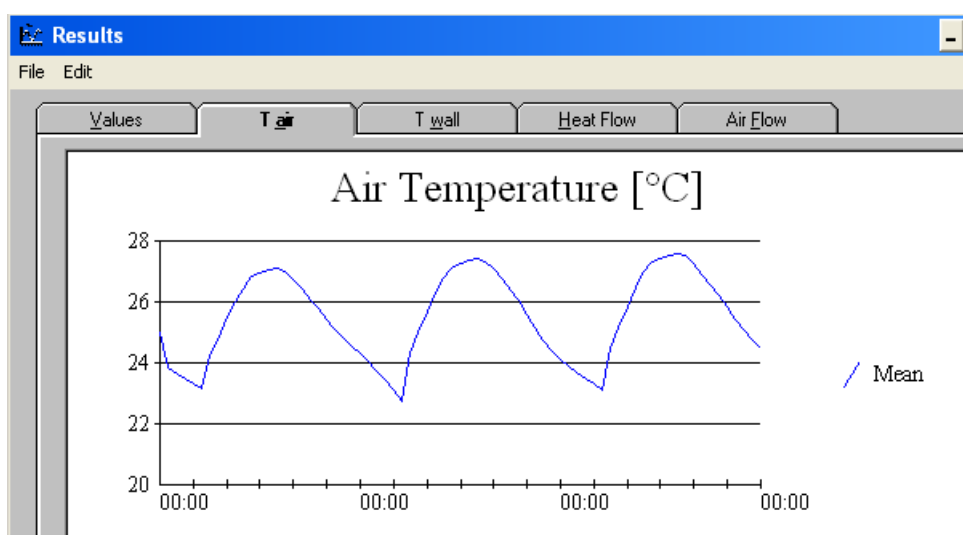


Figura 62 - Resultados da simulação E1

Comentários:

Observamos, agora, que com a combinação da ventilação natural, no período noturno das 20 h às 5 h, e com meia portada fechada, no período diurno para diminuir os ganhos solares, mantendo ao mesmo tempo a entrada de luz natural para o quarto, obtivemos os melhores resultados de todas as simulações. As temperaturas mantêm-se sempre muito perto da zona de conforto de 25 °C. No entanto, durante o período diurno, há, ainda, um sobreaquecimento em relação à temperatura máxima de conforto, que atinge cerca de 2 °C nos períodos de maior calor, entre o meio-dia e as 16 horas. Contudo, é de notar que estas simulações foram feitas tendo em conta as temperaturas externas mais quentes de um período nominal. Pelo que, esta situação poderá ser considerada a mais grave que possa vir a ocorrer e não irá ocorrer com muita frequência. Ao longo deste período, de três dias, verificamos que não se nota um

agravamento significativo das temperaturas atingidas, pelo que, concluímos, ser esta a melhor situação no que diz respeito ao conforto térmico durante a utilização desta divisão da casa. Para obter melhores resultados poder-se-iam instalar equipamentos de ar condicionado, no entanto isto é uma situação a evitar ao máximo, pois são caros, insustentáveis e consomem muita energia.

Como já tínhamos visto anteriormente na Figura 59, da simulação C1, o fluxo de ar não ultrapassa o valor máximo de conforto de 90 m³/h para esta divisão.

5.3.2. QUARTO INDIVIDUAL

Analisando, agora, o quarto individual, cuja planta podemos ver na Figura 63, esta divisão contém apenas uma parede em pedra com um vão envidraçado, três paredes interiores de tijolo simples, uma delas com uma porta, o pavimento é de madeira e o teto de gesso cartonado. As simulações a realizar vão ter características idênticas às simulações realizadas anteriormente.



Figura 63 - Representação do quarto individual da Casa das Varandinhas no programa AUTOCAD

5.3.2.1. Simulação A2

Nesta simulação as janelas estão sempre fechadas, ou seja, a ventilação natural é inexistente e as portadas estão sempre totalmente abertas, ou seja, o fator solar é o relativo aos envidraçados, tendo estes o valor de 0,75 (valor relativo a vidro duplo [24]).

Uma vez que esta divisão tem apenas um vão envidraçado, orientado a sul, os seus ganhos solares vão ser menores que os do quarto de casal, como podemos ver na Figura 64:

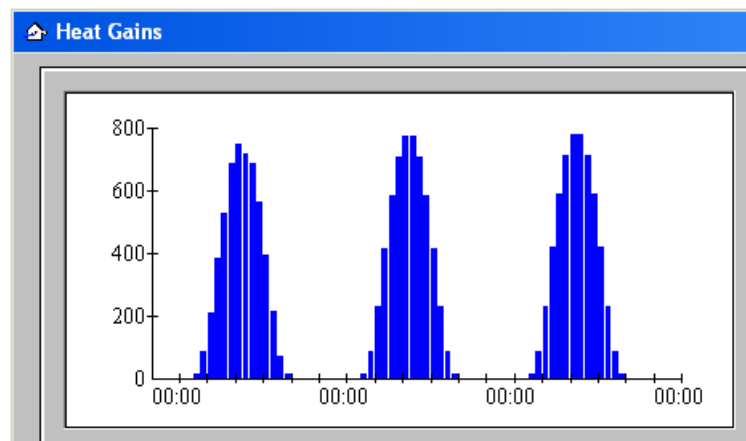


Figura 64 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação A2

Quanto ao resultado desta Simulação A2, podemos vê-lo na seguinte Figura 65:

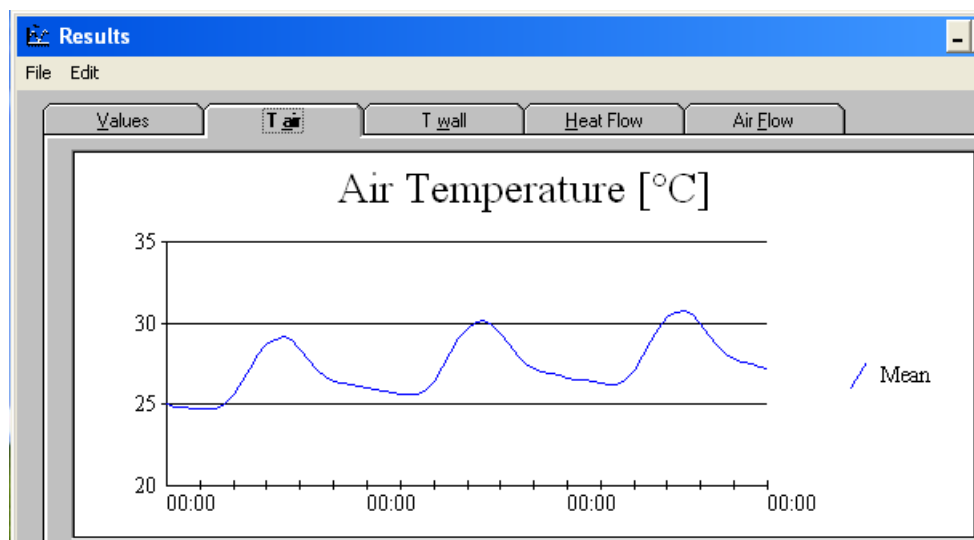


Figura 65 - Resultados da simulação A2

Comentários:

Observamos, desde logo, que este gráfico é muito semelhante ao gráfico obtido na Simulação A1, o que sugere que os ganhos solares provenientes das radiações solares vindas de Este, agora inexistentes, acabam por não fazer uma diferença muito grande nas temperaturas do ar finais. A única diferença que podemos observar é que aqui as temperaturas máximas mantêm-se por um tempo mais curto que no caso da simulação A1.

Devido à semelhança dos resultados, vamos adotar o mesmo procedimento e ver se conseguimos, igualmente, resolver, da mesma forma, o problema do sobreaquecimento.

5.3.2.2. Simulação B2

Na seguinte simulação B2 mantêm-se as janelas sempre fechadas e as portadas totalmente fechadas durante todo o dia. Os ganhos solares são, agora, os da figura:

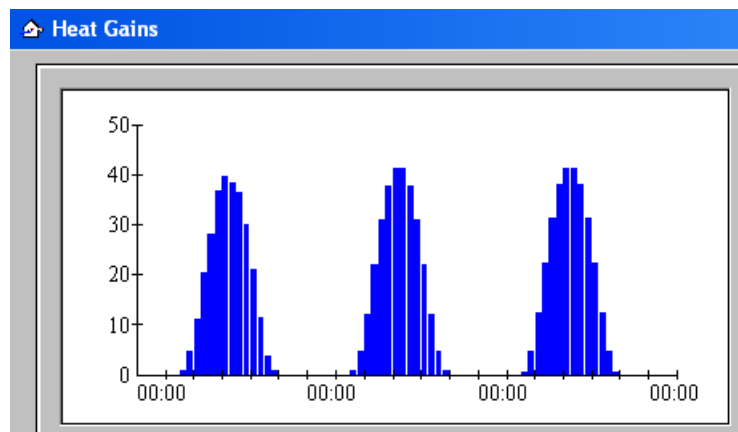


Figura 66 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação B2

O resultado desta Simulação B2 esta na figura:

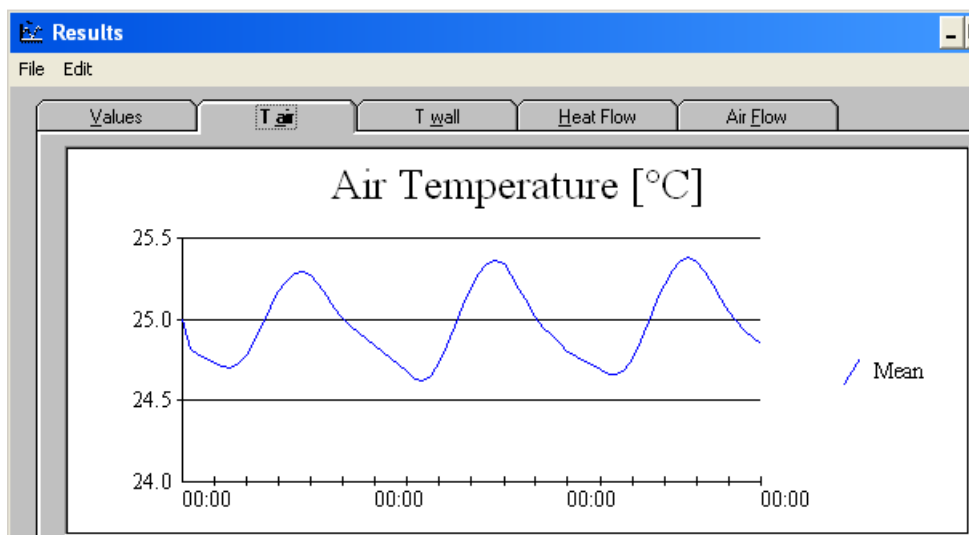


Figura 67 - Resultados da simulação B2

Comentários:

Como seria de esperar os resultados são, também eles, semelhantes aos da simulação realizada com as mesmas condições no quarto de casal, demonstrando-se, mais uma vez, a grande eficácia destas portadas brancas em evitar que os raios solares aqueçam a divisão, mantendo a temperatura do ar interior praticamente constante.

5.3.2.3. Simulação C2

Passando agora à Simulação C2, as janelas são parcialmente abertas com uma área eficaz de ventilação novamente de 4 % da sua área, durante o período de ganhos solares nulos, das 20 h às 5 h, sendo agora a ventilação natural existente na casa. Quanto às portadas, estas ficam sempre abertas durante as horas de sol, para permitir a entrada total de luz natural para a divisão.

Os ganhos solares serão, naturalmente, os mesmos que os apresentados previamente na simulação A2, na Figura 64, e os resultados desta Simulação C2 estão apresentados na Figura 68:

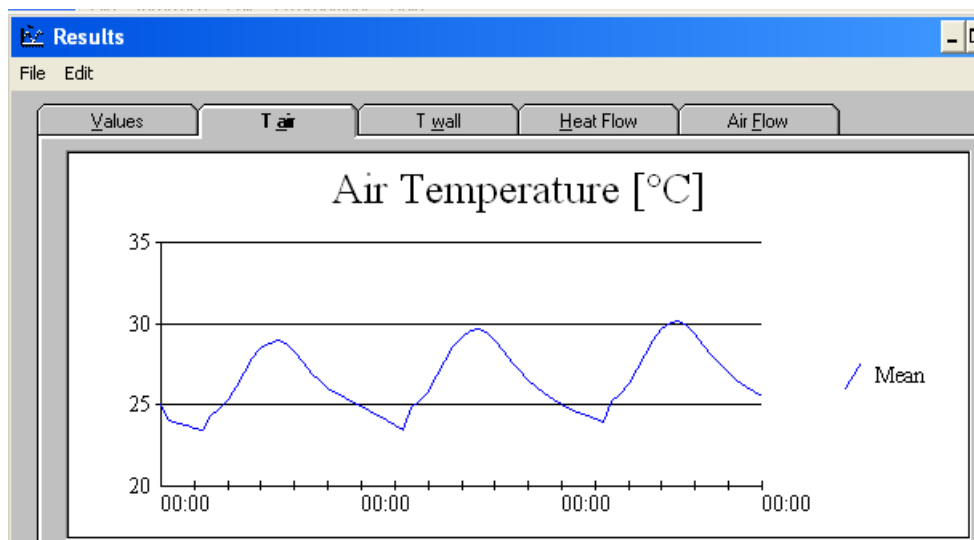


Figura 68 - Resultados da simulação C2

Podemos ver que o conforto térmico é garantido durante uma grande parte do período noturno e as temperaturas do ar baixam, significativamente, durante o período da ventilação, o que, mais uma vez, frisa a sua importância para o arrefecimento das divisões. No entanto, como vimos anteriormente, esta situação pode ainda ser melhorada, se fecharmos uma portada durante o dia, cobrindo metade do vão envidraçado.

O fluxo de ar horário máximo para garantir o conforto nesta divisão é de cerca de 75 m³/h, valor que, neste caso, não é ultrapassado durante as horas de ventilação natural, como podemos ver na figura 69:

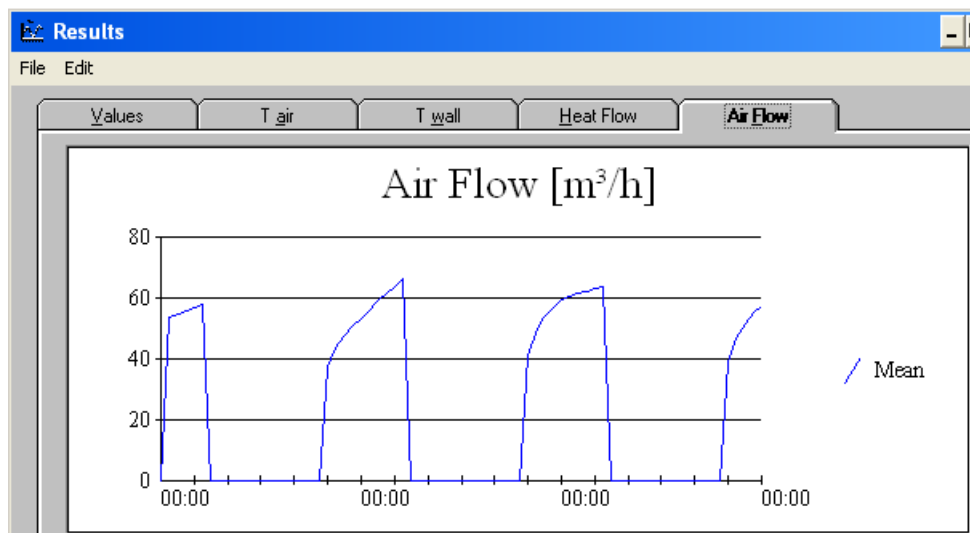


Figura 69 - Gráfico de fluxo de ar horário relativo à Simulação C2

5.3.2.4. Simulação D2

Agora, com a Simulação D2, vamos manter as janelas sempre fechadas e durante o dia uma portada fechada, cobrindo metade do vão envidraçado, para ver se isto, por si só, nos resolve o problema do desconforto térmico (equivale a uma redução do fator solar do vão de 0,75 para 0,395). Os ganhos solares estão representados na Figura 70:

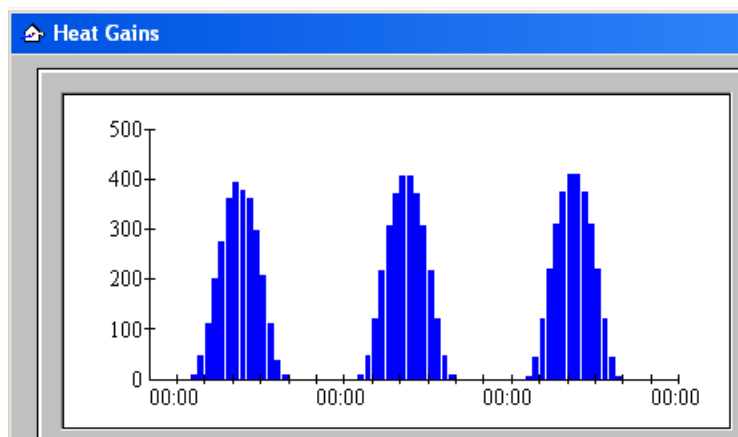


Figura 70 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação D2

O resultado desta simulação D2 está representado na Figura 71:

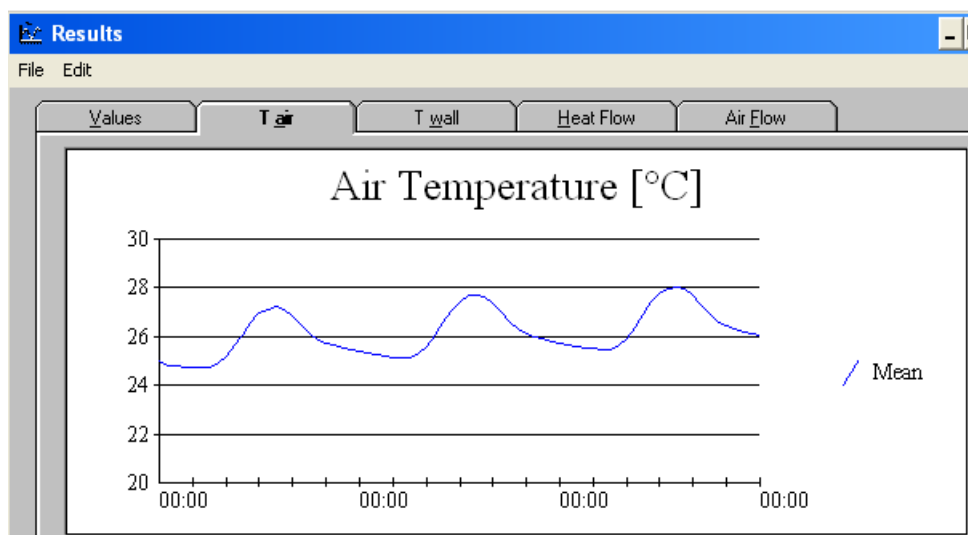


Figura 71 - Resultados da simulação D2

Comentários:

Neste caso, o conforto térmico está perto de ser atingido em grande parte dos três períodos noturnos, sofrendo as temperaturas, no entanto, um aumento progressivo ao longo dos três dias em análise, facto que é explicado pela falta de ventilação. Esta situação pode-se agravar caso os dias de muito calor se prolonguem.

5.3.2.5. Simulação E2

Na Simulação E2 voltamos a combinar condições, tendo as janelas parcialmente abertas com uma área eficaz de ventilação correspondente a 4 % da sua área, durante o período de ganhos solares nulos, das 20 h às 5 h, sendo agora a ventilação natural existente na casa, e é mantida apenas uma portada fechada em cada janela, cobrindo metade da área em cada vão envidraçado (equivale a redução do fator solar do vão de 0,75 para 0,395).

Os ganhos solares são os mesmos que os apresentados na Simulação D2 na Figura 70. Os resultados desta Simulação E2 estão na Figura 72:

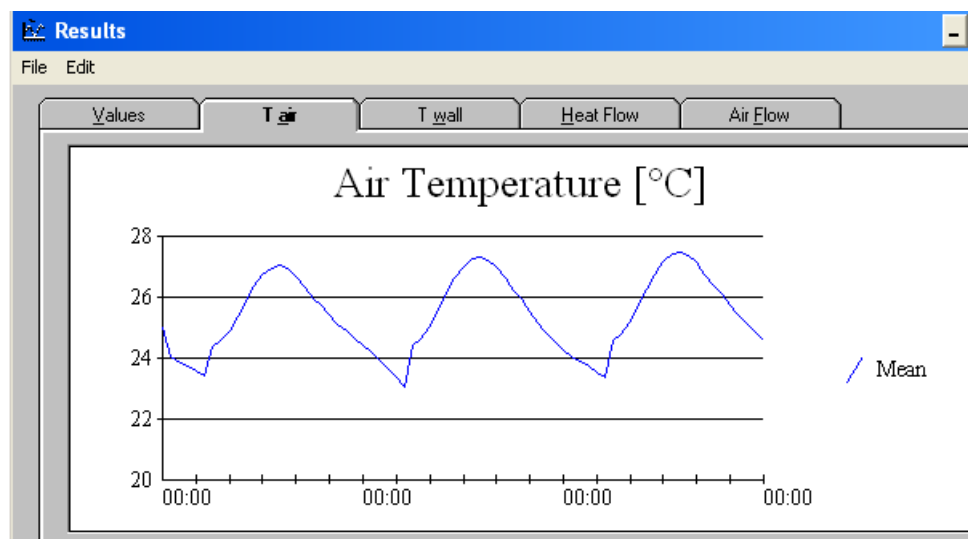


Figura 72 - Resultados da simulação E2

Comentários:

Podemos dizer que, em relação ao conforto térmico, este é garantido durante todo o período noturno, com temperaturas sempre abaixo ou muito perto dos 25 °C. Nas horas de maior calor há um sobreaquecimento significativo, no entanto este poderá talvez ser resolvido com o fecho da totalidade das portadas, caso não estejamos a utilizar a divisão, de modo a evitar o aquecimento do ar interior. Quanto à ventilação natural horária realizada, esta não interfere com o conforto, pois não ultrapassa, nunca, o valor de 75 m³/h, correspondente a quatro vezes o volume desta divisão, como podemos ver na Figura 73:

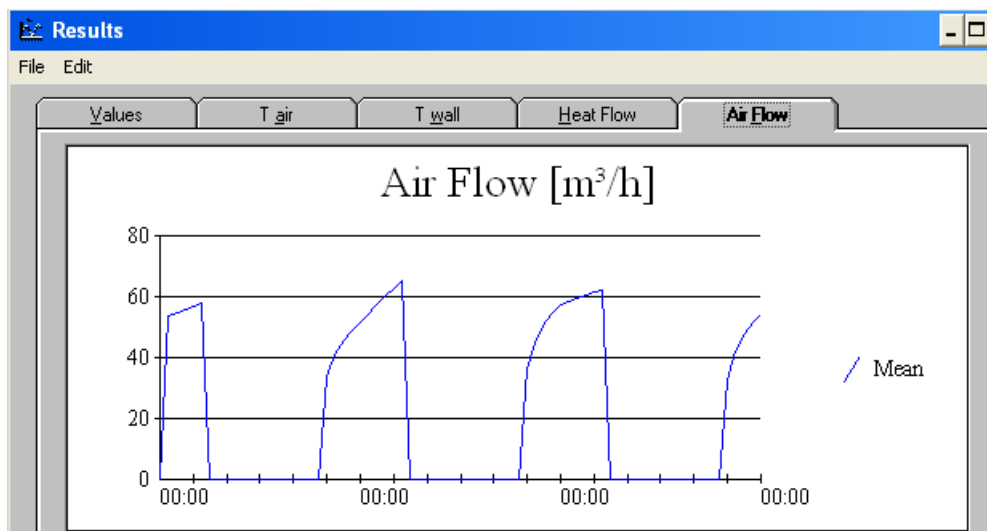


Figura 73 - Gráfico de fluxo de ar horário relativo à Simulação E2

5.4. SIMULAÇÕES NA CASA DO MANEL

5.4.1. QUARTO DE CASAL

Vamos, agora, analisar as divisões da Casa do Manel, começando então pelo quarto de casal. Esta divisão contém três paredes em pedra, duas das quais incluem vãos envidraçados e uma parede interior, em tabique. Quer o pavimento quer o teto são de madeira. Neste caso, a casa não oferece grandes condições de habitabilidade, mas, mesmo assim, será interessante avaliar o seu desempenho nos dias de maior calor, tanto mais que as janelas desta divisão não possuem quaisquer proteções solares. Esta divisão tem um vão envidraçado orientado a Sul e dois orientados a Oeste e a sua planta, em AUTOCAD, pode ser vista na Figura 74:

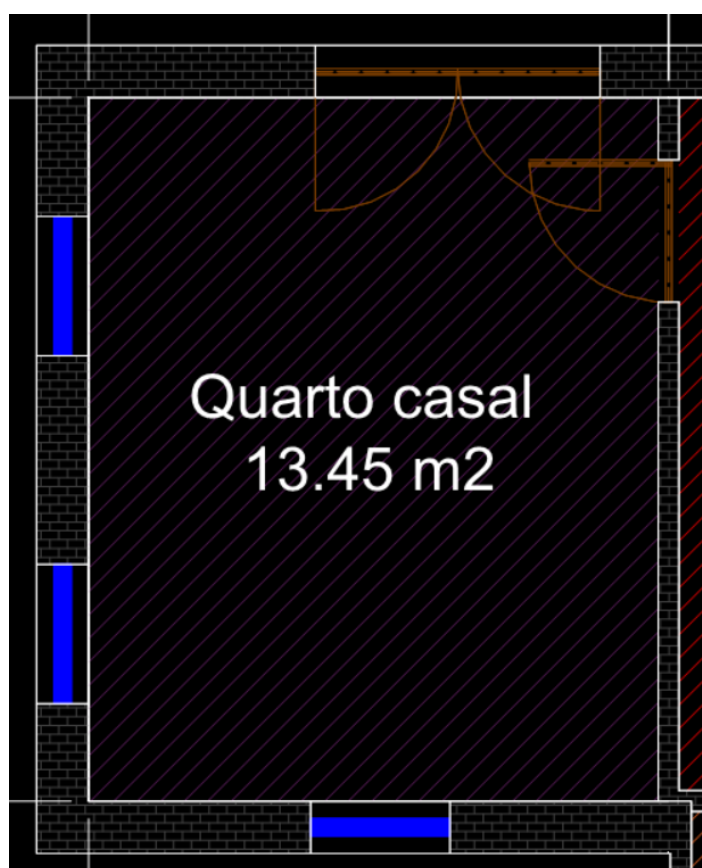


Figura 74 - Representação do quarto de casal da Casa do Manel no programa AUTOCAD

5.4.1.1. Simulação A3

A primeira simulação, designada por simulação A3, é então feita com as seguintes condições:

- Janelas sempre fechadas, ou seja, a ventilação natural é inexistente;
- Proteções solares inexistentes, ou seja, o fator solar é o relativo aos envidraçados (neste caso são vidros simples, sendo o seu valor 0,85 [24]).
- As janelas são agora de vidro simples e caixilharia em alumínio, não possuindo corte térmico como as da Casa das Varandinhas, o que vai aumentar o seu valor do Coeficiente de Transmissão Térmica U de 2,3 para 3,9 W/m².°C, considerando também aqui que há ocupação noturna [23].

Esta divisão recebe radiação solar proveniente de Sul e de Oeste. Podemos ver o gráfico dos ganhos solares em W, relativos às horas dos três dias analisados, na Figura 75:

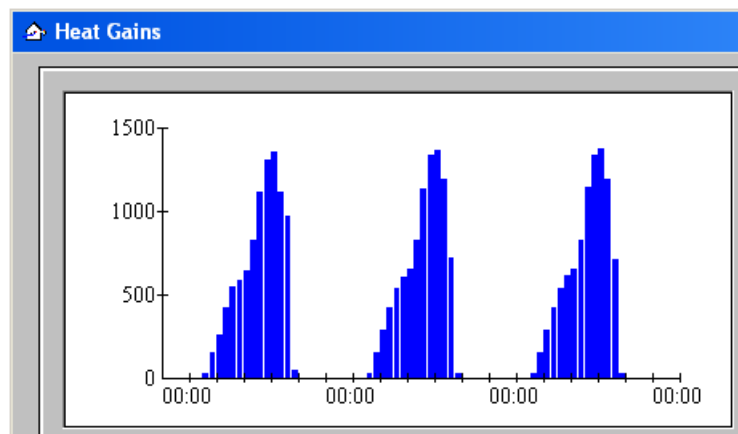


Figura 75 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação A3

Os resultados desta simulação A3 estão apresentados na Figura 76:

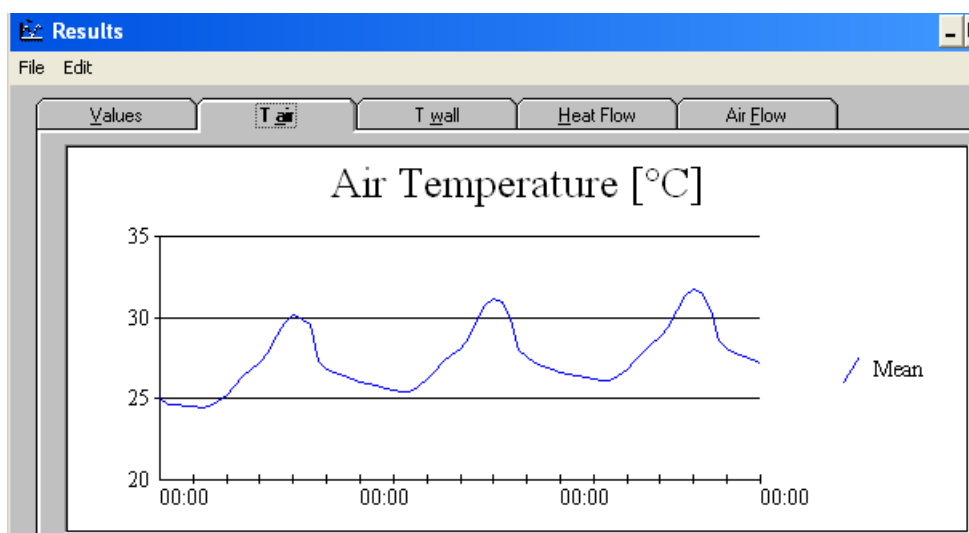


Figura 76 - Resultados da simulação A3

Comentários:

No gráfico podemos ver que o conforto térmico é garantido apenas na primeira noite, com a temperatura a variar mais abruptamente do que no caso das divisões na casa das varandinhas, quer no aquecimento quer no arrefecimento, devido ao facto de os vãos envidraçados terem vidros simples e caixilharias sem corte térmico, razões que contribuem para um aumento significativo do coeficiente de transmissão térmica U. A situação agrava-se ao longo dos três dias, devido à ausência de ventilação na divisão, com as temperaturas médias diárias a sofrer um aumento de cerca de 2 °C ao fim dos três dias.

5.4.1.2. Simulação B3

Na Simulação B3 vamos tentar, apenas com os recursos disponíveis na divisão, criar uma situação de máximo conforto térmico possível, introduzindo a ventilação natural noturna nesta divisão. Os ganhos solares serão os mesmos, mas desta vez as janelas vão estar parcialmente abertas no período noturno, das 20 h às 5 h, com uma área eficaz de ventilação correspondente a 6 % da sua área total, de forma a

não ultrapassar o caudal horário máximo de conforto, de quatro vezes o volume da divisão, que neste caso é cerca de 130 m³/h.

Podemos ver o gráfico do fluxo de ar horário, nesta situação, na Figura 77, verificando que o valor máximo não é ultrapassado:

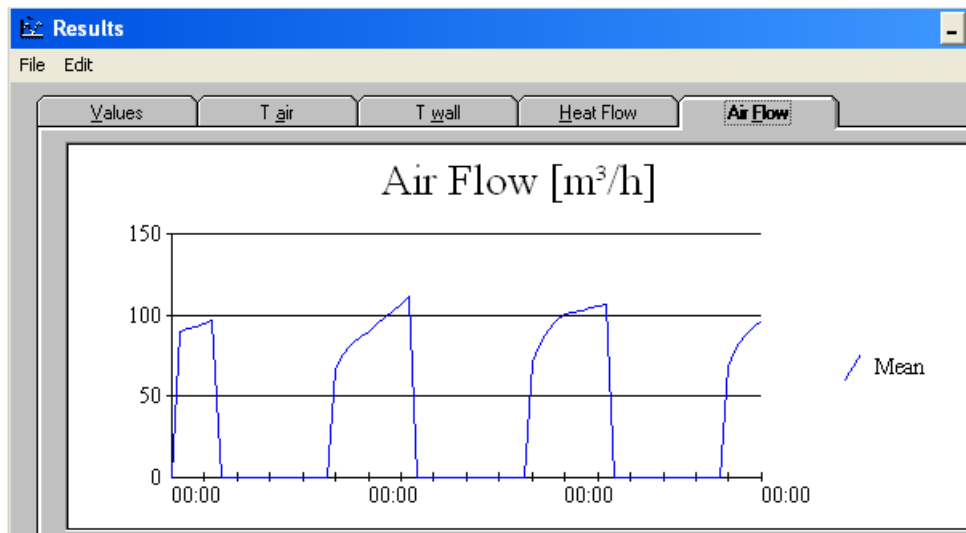


Figura 77 - Gráfico de fluxo de ar horário relativo à Simulação B3

O resultado desta Simulação B3 está na figura 78:

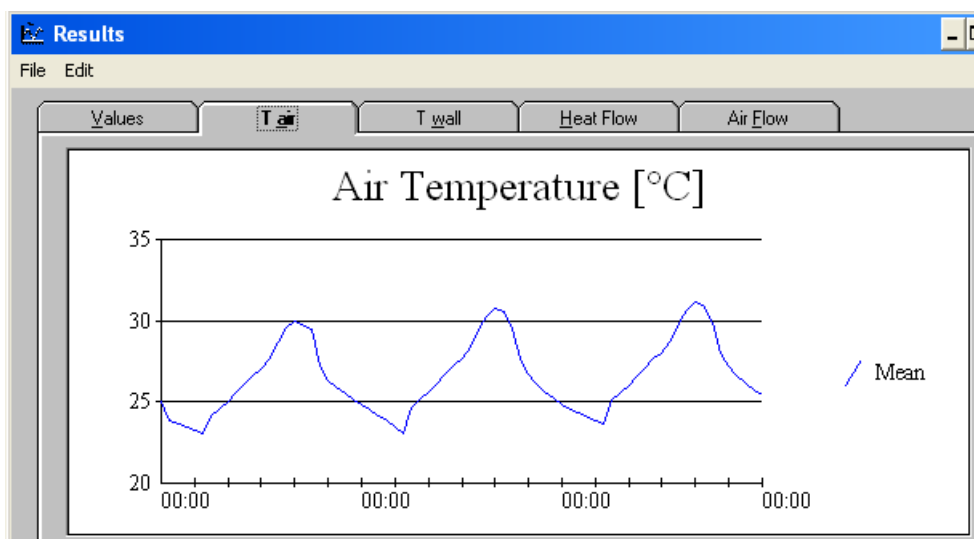


Figura 78 - Resultados da simulação B3

Comentários:

Podemos ver que no período noturno em geral o conforto térmico é quase sempre garantido. No entanto, ao longo do período em análise, verificamos que há, de novo, um aumento das temperaturas médias do ar no interior da divisão, que se vai agravando. Assim, para que tenhamos conforto também durante o dia, teremos que optar por introduzir proteções solares exteriores, à semelhança das existentes nos vãos envidraçados das divisões analisadas da Casa das Varandinhas.

5.4.1.3. Simulação C3

Na Simulação C3, vamos manter todas as condições descritas na Simulação B3, mas vamos adicionar a todos os vãos envidraçados portadas exteriores, em alumínio e de cor branca, iguais às da Casa das Varandinhas, para verificarmos o seu efeito nas temperaturas horárias do ar no interior. Mantemos, apenas, uma portada fechada, de modo a permitir a entrada de luz natural na divisão durante o dia.

Os ganhos solares relativos a esta simulação estão representados na Figura 79:

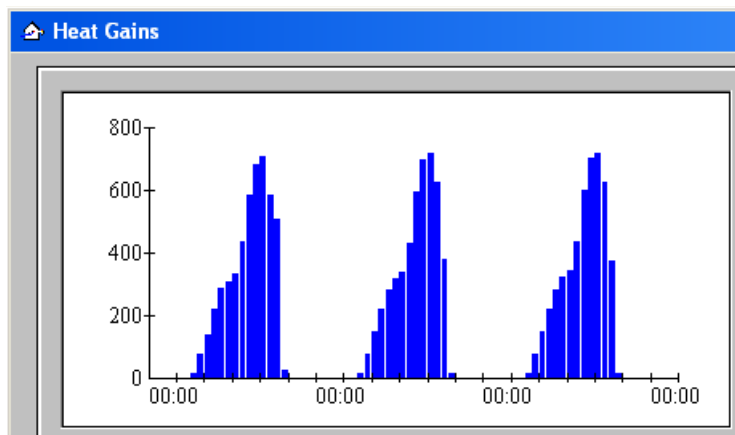


Figura 79 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação C3

O resultado desta Simulação C3 está apresentado na seguinte Figura 80:

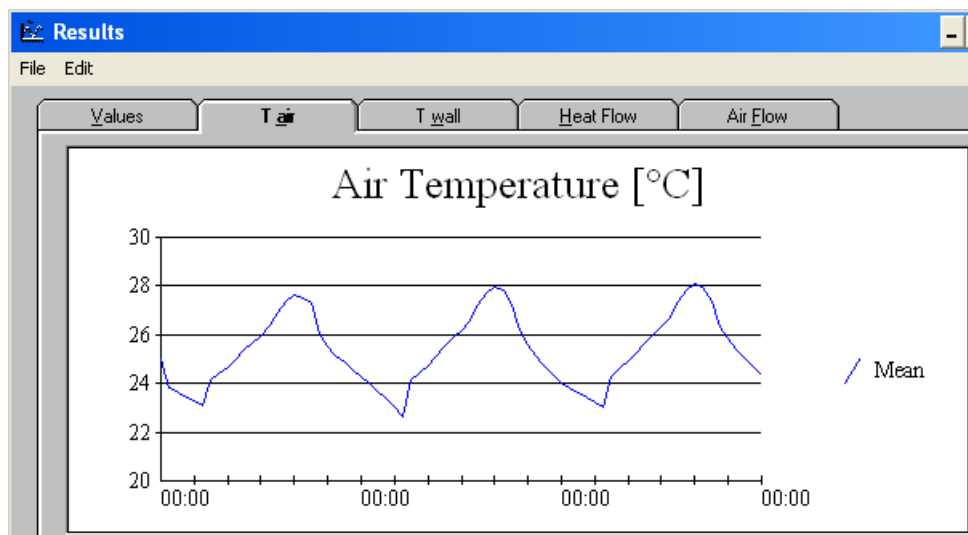


Figura 80 - Resultados da simulação C3

Comentários:

Podemos ver que, ao fecharmos apenas uma das portadas, conseguimos reduzir as temperaturas médias do ar em cerca de 2°C, no período diurno, tornando a divisão substancialmente mais agradável de frequentar durante o dia, apesar da temperatura atingida neste período não ser ainda a mais desejada. Conseguimos, também, prevenir o aumento das temperaturas médias ao longo dos três dias em análise, sendo que esse aumento é praticamente inexistente.

5.4.2. QUARTO 2 (INDIVIDUAL)

Analisando, agora, o Quarto 2, verificamos que esta divisão contém quatro paredes em tabique, o pavimento e o teto são de madeira, a janela desta divisão possui proteções solares interiores, constituídas por portadas, em madeira, pintadas a cor azul. Esta divisão tem, apenas, um vão envidraçado, orientado a Sul. A sua planta, em AUTOCAD, está apresentada na Figura 81:

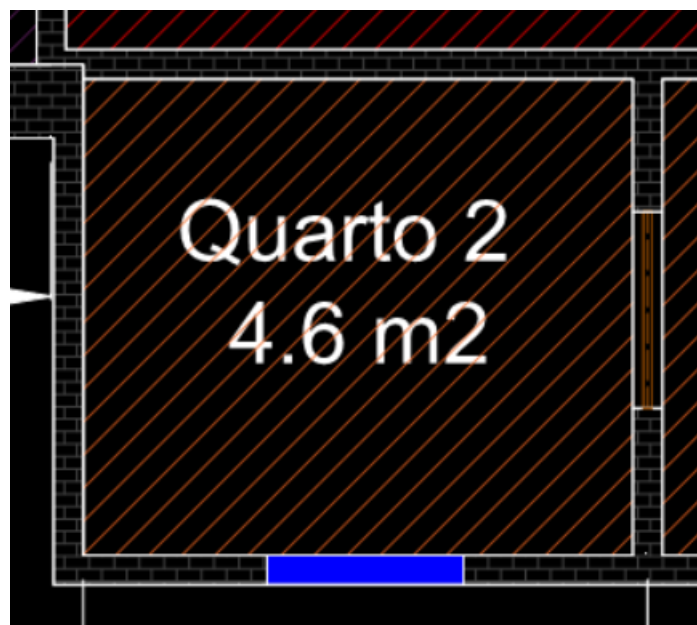


Figura 81 - Representação do quarto singular da Casa do Manel no programa AUTOCAD

5.4.2.1. Simulação A4

Neste caso, vamos analisar o sobreaquecimento nesta divisão, com a simulação A4, realizada com as seguintes condições:

- Portadas interiores abertas, durante todo o dia (fator solar 0,85);
- Ventilação natural inexistente (janelas sempre fechadas).

Os ganhos solares estão apresentados na Figura 82:

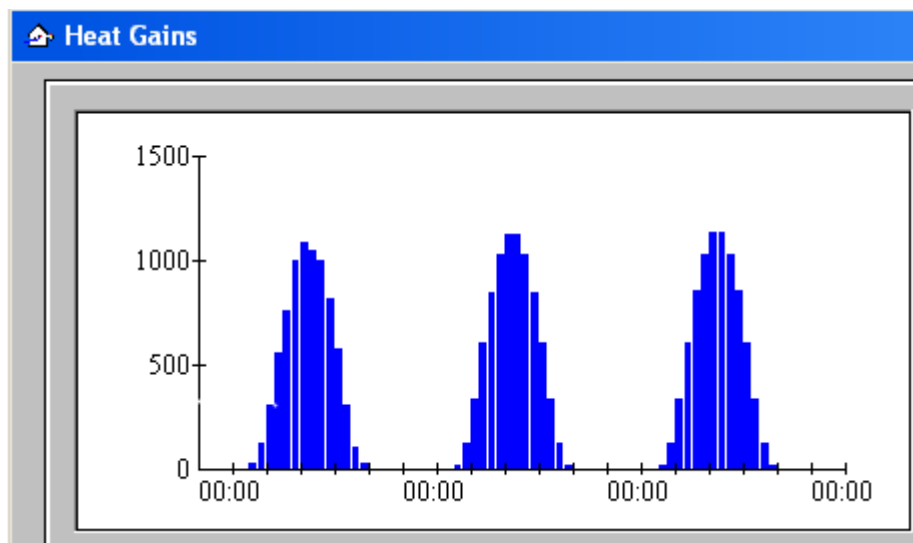


Figura 82 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação A4

Os resultados obtidos nesta simulação estão na seguinte Figura 83:

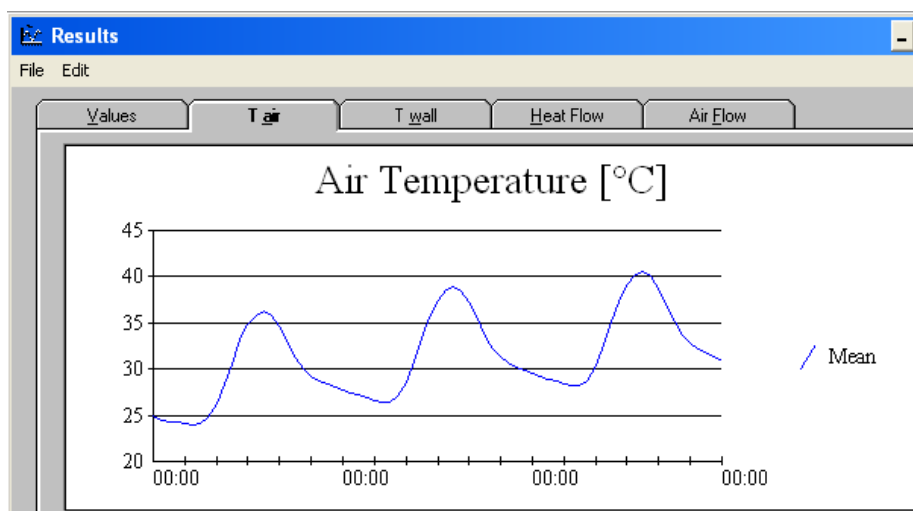


Figura 83 - Resultados da simulação A4

Comentários:

Podemos observar neste gráfico que há um sobreaquecimento grande, que se vai agravando ao longo dos três dias em análise, com as temperaturas médias do ar interior a variar em média 4°C, entre o primeiro e o terceiro dias analisados. O conforto térmico é quase sempre inexistente, apesar do grande arrefecimento que ocorre durante o período noturno. Esta situação ocorre, provavelmente, devido ao facto de o coeficiente U da janela ser elevado, pois esta possui vidro simples e caixilharia em madeira, e também devido ao facto das paredes de tabique oferecerem uma inércia térmica baixa.

O Fator Solar, neste caso, é elevado, pois os envidraçados são de vidro simples e, como consequência, os ganhos solares são muito significativos.

5.4.2.2. Simulação B4

Vamos agora testar o efeito das portadas interiores azuis, existentes no vão desta divisão, quando ativas, realizando a simulação B4

As janelas continuam sempre fechadas e, neste caso, os ganhos solares são os representados na Figura 84, para um fator solar de 0,40 (portadas opacas de cor média [24]):

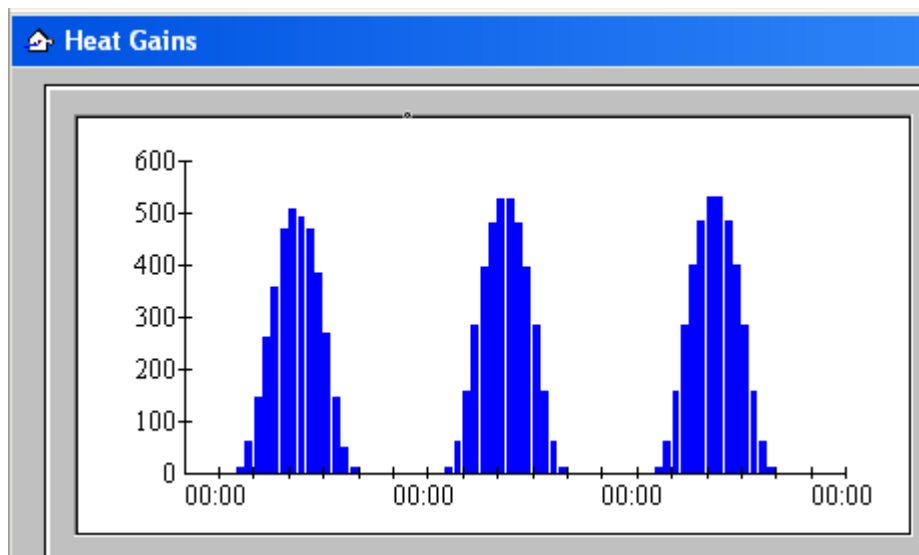


Figura 84 - Ganhos solares de 24 a 26 de agosto relativos ao caso analisado na Simulação B4

Os resultados desta Simulação estão na seguinte Figura 85:

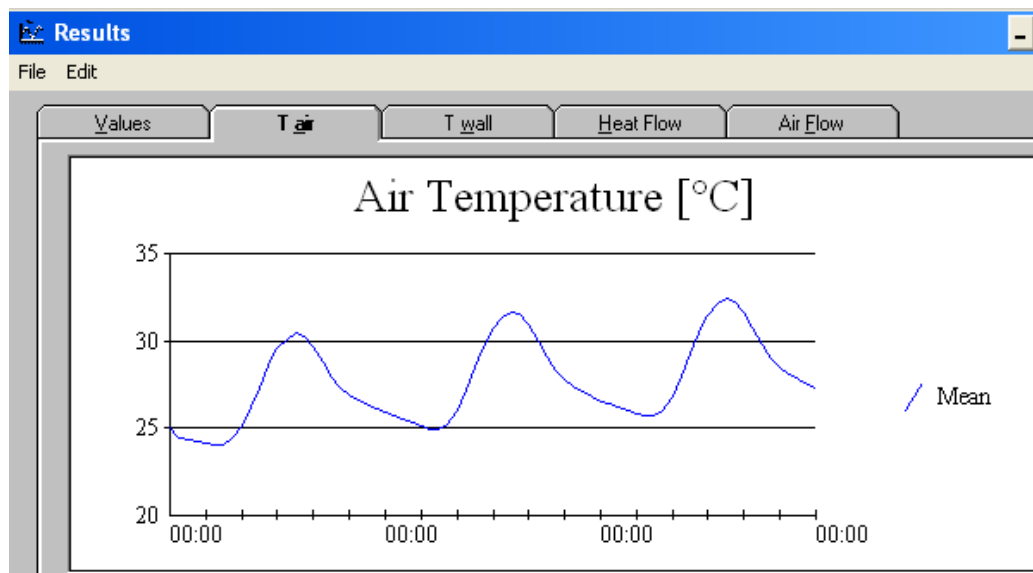


Figura 85 - Resultados da simulação B4

Comentários:

Podemos ver que o aumento das temperaturas médias do ar interior continua a agravar-se ao longo dos três dias. Tal facto deve-se, sem dúvida e em grande parte, à ausência de ventilação. No entanto, há uma

grande redução das temperaturas médias horárias de cerca de 7,5°C, o que demonstra que estas portadas são bastante eficazes, não obstante o conforto térmico ser sempre praticamente inexistente. Ou seja, neste caso a divisão não oferece as melhores condições para ocupação.

5.5. SÍNTESE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Na Tabela 39 podemos ver a síntese das simulações realizadas na Casa das Varandinhas:

Tabela 39 – Síntese dos resultados das simulações realizadas na Casa das Varandinhas

CASA DAS VARANDINHAS	SIMULAÇÃO	SÍNTESE DOS RESULTADOS
QUARTO DE CASAL	A1	Sobreaquecimento quase permanente, temperaturas máximas atingidas de 32°C e mínimas de 25°C. Agravamento da temperatura média interior em cerca de 1°C por dia.
	B1	Sobreaquecimento praticamente inexistente. Temperatura interior varia muito pouco, apenas cerca de 1°C oscilando entre os 24,5°C e 25,5°C
	C1	Conforto térmico atingido durante o período noturno. Sobreaquecimento existente durante o dia causando desconforto. Temperatura média máxima atingida agrava de 29°C até aos 30°C do primeiro ao terceiro dia. Fluxo de ar horário nunca provoca desconforto.
	D1	Diminuição das temperaturas médias de 2°C em relação a A1, no entanto o desconforto térmico continua a existir na maior parte do dia, apesar de não ser tão grave como em A1. Temperatura média máxima atingida agrava de 27°C até aos 28°C do primeiro ao terceiro dia.

	E1	<p>Melhor resultado de todas as simulações desta divisão. Conforto térmico sempre garantido, exceto apenas no período entre o meio-dia e as 16 h em que a temperatura está em média 2°C acima da máxima de conforto.</p> <p>Temperaturas médias máximas chegam aos 27,5 °C no terceiro dia. Agravamento das temperaturas máximas pouco significativo. Fluxo de ar horário nunca provoca desconforto.</p>
QUARTO INDIVIDUAL	A2	Resultados muito semelhantes à simulação A1, o que sugere que as radiações solares vindas de Este durante o período analisado influenciam muito pouco as temperaturas interiores, a única diferença é que aqui as temperaturas máximas mantêm-se por um tempo mais curto.
	B2	Resultados muito semelhantes à simulação B1. Desconforto térmico sempre existente.
	C2	Conforto térmico atingido na maior parte do período noturno. Situação muito semelhante a C1. Fluxo de ar horário nunca provoca desconforto.
	D2	<p>Temperatura média máxima atingida agrava de 27°C até aos 28°C do primeiro ao terceiro dia.</p> <p>Conforto térmico apenas na primeira noite, perto de ser atingido na segunda e na terceira noite.</p> <p>Desconforto térmico em todos os períodos diurnos.</p>
	E2	<p>Conforto térmico garantido em todos os períodos noturnos.</p> <p>Agravamento das temperaturas médias máximas inexistente.</p> <p>Fluxo de ar horário nunca provoca desconforto.</p>

Na Tabela 40 podemos ver a síntese das simulações realizadas na Casa do Manel:

Tabela 40 - Síntese dos resultados das simulações realizadas na Casa do Manel

CASA DO MANEL	SIMULAÇÃO	SÍNTESE DOS RESULTADOS
QUARTO DE CASAL	A3	Desconforto térmico quase permanente, exceto na primeira noite. Temperatura média máxima atingida agrava de 30°C até aos 32°C do primeiro ao terceiro dia. Variações de temperatura geralmente mais abruptas que nos casos da Casa das Varandinhas.
	B3	Conforto térmico noturno garantido. Agravamento das temperaturas médias máximas ainda existente, à semelhança de A3.
	C3	Conforto térmico noturno garantido. Temperaturas médias descem em média 2°C durante o dia, apesar de haver ainda desconforto térmico neste período. O agravamento das temperaturas máximas é pouco significativo.
QUARTO INDIVIDUAL	A4	Desconforto térmico permanente. Sobreaquecimento muito significativo com agravamento das temperaturas máximas de cerca de 4°C do primeiro ao terceiro dia.
	B4	Desconforto térmico permanente, mas substancialmente menos grave que em A4, pois há uma redução das temperaturas horárias de 7,5 °C.

Neste capítulo, após analisarmos quatro divisões distintas, de duas casas diferentes e em condições de habitabilidade diferente, chegámos à conclusão que o tipo de proteções solares exteriores dos envidraçados, o tipo de envidraçados utilizado e a existência de ventilação natural nas quantidades e horas certas são de grande importância para resolver os problemas de sobreaquecimento numa divisão.

No caso das proteções solares, na estação de arrefecimento é recomendável manter, pelo menos, uma portada fechada, de modo a diminuir os ganhos solares e, consequentemente, as temperaturas do ar interior, não deixando a casa aquecer muito. Tal pode, ainda, ser melhorado com a existência de ventilação natural noturna, que pode ser facilmente regulada com janelas oscilo batentes, de forma a não causar fluxos de ar desconfortáveis. No caso de uma divisão não estar a ser utilizada, o recomendável é que se fechem totalmente as portadas durante o período diurno, o que vai permitir variações muito reduzidas das temperaturas do ar interior.

O número de vãos envidraçados existente e a sua orientação, assim como as suas dimensões, são, também, fatores muito importantes, pois como já vimos fazem uma grande diferença, a nível de ganhos solares e aquecimento do ar do interior.

Vimos, também, que o aquecimento e arrefecimento do ar interior é mais rápido nas divisões que possuem janelas de vidro simples e com caixilharia sem corte térmico, facto que pode ser explicado pelo maior valor de U neste caso, em comparação ao caso dos vidros duplos, com caixilharia com corte térmico. Um maior valor de U corresponde a uma maior perda de calor durante a noite.

6

ANÁLISE DO CONFORTO HIGROTÉRMICO NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, com recurso a dispositivos para medição da temperatura do ar interior e humidade relativa, vamos analisar o conforto higrotérmico, relativo à Casa das Varandinhas, e ao clima do seu exterior, comparando-os posteriormente. Na Casa do Manel não se considerou necessário realizar estas medições, uma vez que não tem ocupação nem oferece ainda condições de habitabilidade.

Para recolha e análise dos dados foi utilizado o programa informático HOBOWARE, que nos permitiu também, numa fase inicial, programar os dispositivos medidores para o seu correto funcionamento durante o período em análise.

O período em análise foi de cerca de um mês e meio, do dia 29 de outubro até ao dia 17 de dezembro no ano de 2019, sendo de notar que durante este período houve ocupação temporária da Casa das Varandinhas, em média de 3 dias por semana. No total foram utilizados 4 dispositivos na Casa das Varandinhas nas seguintes localizações:

- Quarto de casal;
- Cozinha;
- Sala de estar;
- Exterior da Casa.

Quanto à temperatura de conforto no interior, vamos considerar, para a estação de aquecimento, os valores entre os 18°C e os 22°C [22].

No que diz respeito ao conforto do interior, a humidade relativa deve situar-se entre os 40% e os 70% numa casa com ocupação permanente, de forma a evitar situações como, o dano das vias respiratórias dos ocupantes e a formação de bolor e deterioração nos materiais mais suscetíveis à humidade, tais como, por exemplo, madeiras e placas de gesso, entre outros [25].

Nesta dissertação vamos-nos focar, mais, na temperatura interior e na sua relação com a temperatura exterior, verificando se há conforto térmico no interior da Casa das Varandinhas.

6.2. CASA DAS VARANDINHAS

6.2.1. LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO

Os dispositivos de medição de temperatura e humidade relativa do ar foram fornecidos pelo Laboratório de Materiais de Construção (LMC), uma unidade de investigação, ensino e de prestação de serviços ao exterior que se enquadra no Departamento de Engenharia Civil (DEC) e depende diretamente da Secção de Materiais de Construção [26].

Na planta da Casa das Varandinhas, apresentada na Figura 86, podemos ver a localização dos dispositivos utilizados para as medições, durante o período estudado, assinalados a vermelho:

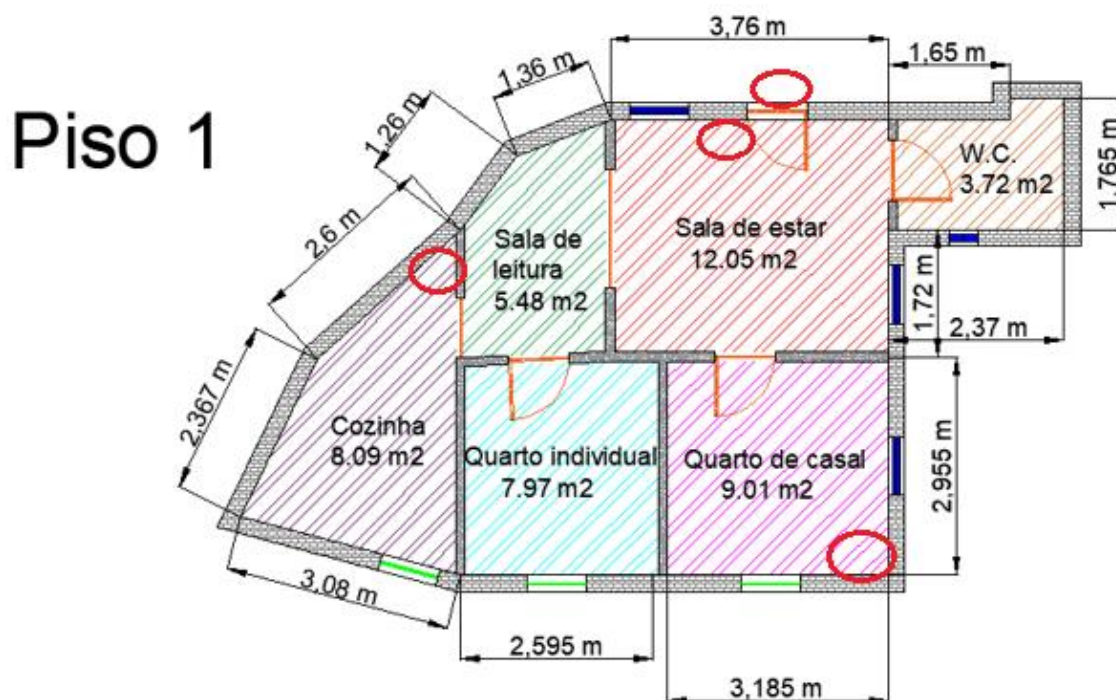


Figura 86 – Planta da Casa das Varandinhas com as localizações dos dispositivos assinaladas a vermelho

Na Figura 87 vemos, respetivamente, os dispositivos da cozinha, da sala de estar, do quarto de casal e do exterior:



Figura 87 - Localização dos dispositivos de medição na Casa das Varandinhas

6.2.2. CLIMA NO EXTERIOR DAS CASAS

Na Figura 88 podemos ver um gráfico dos dados recolhidos pelo dispositivo colocado no exterior da Casa das Varandinhas. A azul temos as humidades relativas e a preto temos as temperaturas exteriores.

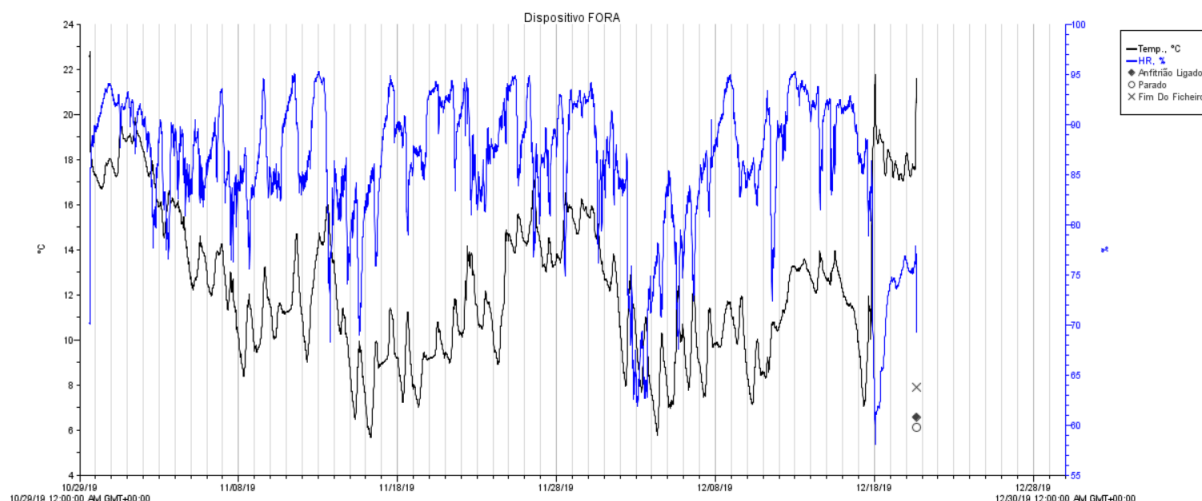


Figura 88 – Dados medidos representados no programa HOBOWARE do clima do exterior das casas

Na Figura 89 vemos o gráfico das temperaturas medidas no exterior da casa:

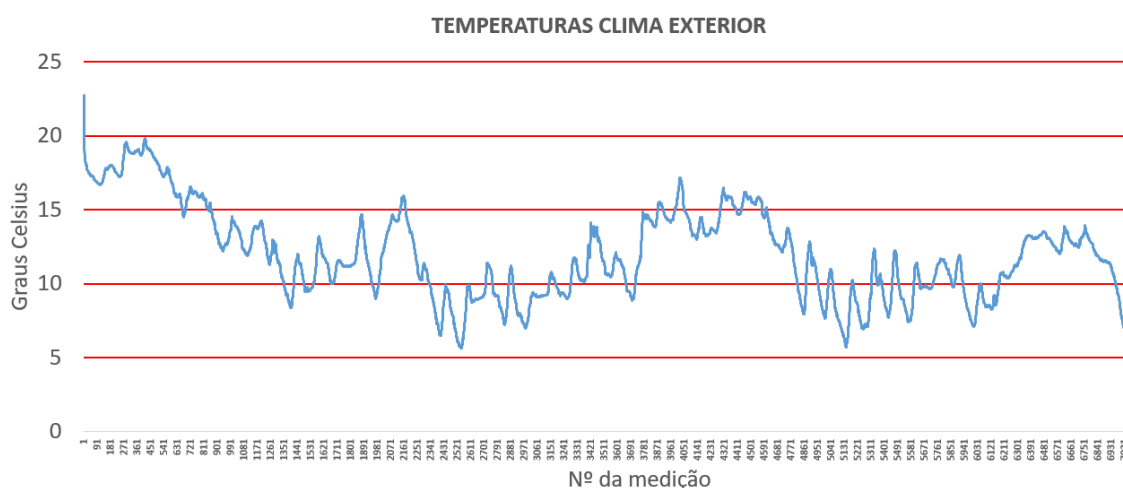


Figura 89 - Temperaturas exteriores

Comentário:

Em relação ao clima exterior, verificamos que as temperaturas do exterior, para o período analisado, do mês de novembro e primeira quinzena de dezembro, estão quase sempre entre os 5°C e os 15°C.

As humidades relativas do ar são naturalmente bastante altas, pois ocorreram neste período precipitações frequentes e elevadas, com longas durações, que podem ser explicadas com os vários picos no gráfico, quando este atinge os valores próximos de 95%. Para além disso, a zona analisada está muito perto do rio, cerca de 115 metros de distância, o que contribui, também, para os resultados destes dados registados. Estes valores chegam, no entanto, a variar entre os 60% e os 95%. O clima, durante o período em análise, é geralmente bastante húmido e frio, o que é característico das zonas do interior Norte de Portugal.

6.2.3. QUARTO DE CASAL

Na Figura 90 podemos ver um gráfico dos dados recolhidos pelo dispositivo colocado no quarto de casal da Casa das Varandinhas. A azul temos as humidades relativas e a preto temos as temperaturas interiores.

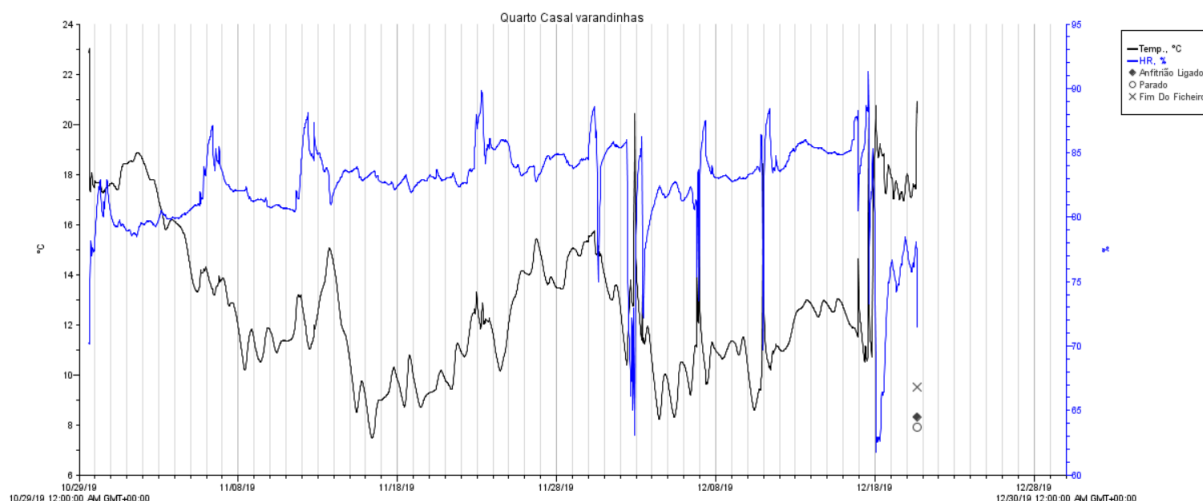


Figura 90 - Dados medidos representados no programa HOBOWARE do quarto de casal da Casa das Varandinhas

Na Figura 91 e na Figura 92 podemos ver, respetivamente, o gráfico das temperaturas registadas no interior desta divisão, a azul, e o gráfico das temperaturas registadas no exterior da Casa das Varandinhas, a preto, de modo a podermos comparar os mesmos:

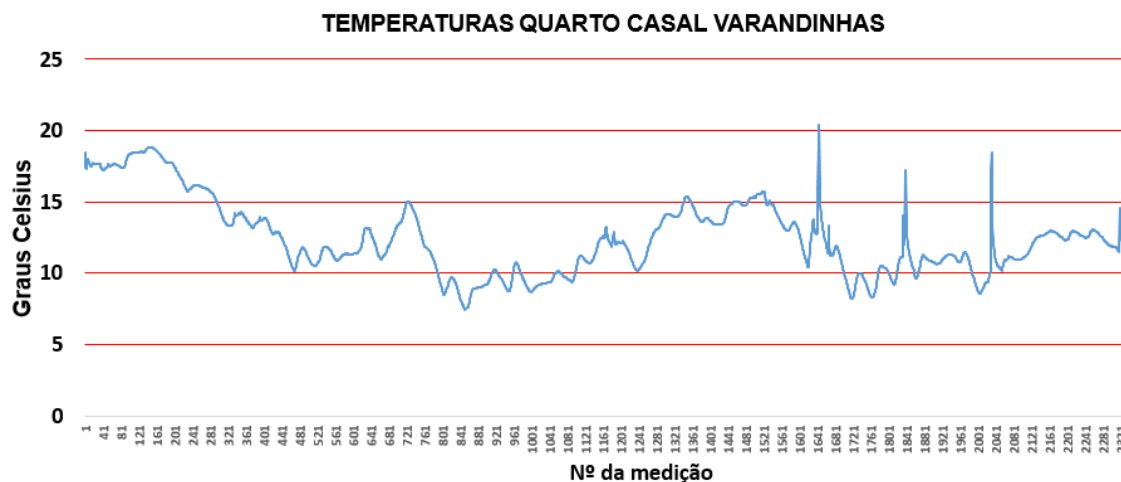


Figura 91 – Temperaturas registadas no quarto de casal da Casa das Varandinhas

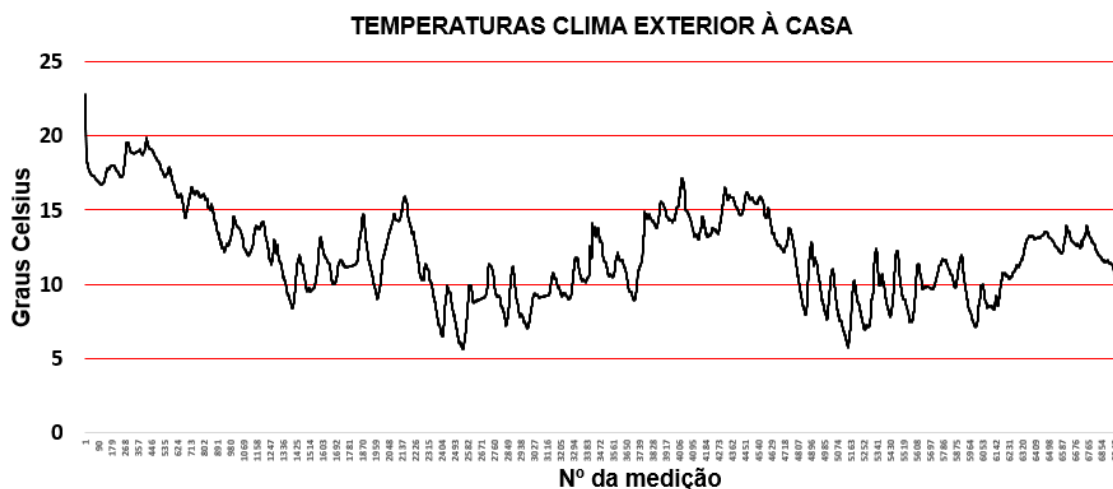


Figura 92 - Temperaturas registadas no exterior da Casa das Varandinhas

Comentários:

Durante o período em análise houve uma ocupação média da casa de três dias por semana, grande parte dos quais por apenas uma pessoa, que pernitoou neste quarto.

No gráfico da Figura 91 podemos ver que a temperatura interior nesta divisão esteve, maioritariamente, abaixo da zona de conforto. Tal pode ser explicado pelo facto de o proprietário fechar todas as portadas exteriores dos vãos envidraçados da casa quando esta não está a ser ocupada, o que diminui, substancialmente, os ganhos solares da mesma e, consequentemente, baixa as temperaturas médias do ar no interior. As situações em que a temperatura aumenta substancialmente correspondem, naturalmente, aos períodos em que esta divisão esteve ocupada. No último terço do gráfico podemos ver três picos na temperatura, em que esta atinge valores dentro do conforto térmico desejado, que correspondem aos períodos noturnos em que o morador da casa afirmou ter ligado o aquecimento elétrico existente nesta divisão.

Ao compararmos os dois gráficos, vemos que a curto prazo o gráfico das temperaturas no interior não oscila tanto como o das temperaturas exteriores, mantendo-se as temperaturas interiores mais constantes, o que sugere que esta casa terá, em geral, uma boa inércia térmica, pois aquece e arrefece muito mais lentamente que o exterior.

No entanto, como no período em análise não houve uma ocupação permanente da casa e, quando houve foi apenas por uma pessoa, as temperaturas médias do interior desta divisão acabam por ser bastante semelhantes às do exterior.

6.2.4. SALA DE ESTAR

Na Figura 93 podemos ver um gráfico dos dados recolhidos pelo dispositivo colocado na sala de estar da Casa das Varandinhas. A azul temos as humidades relativas e a preto temos as temperaturas interiores.

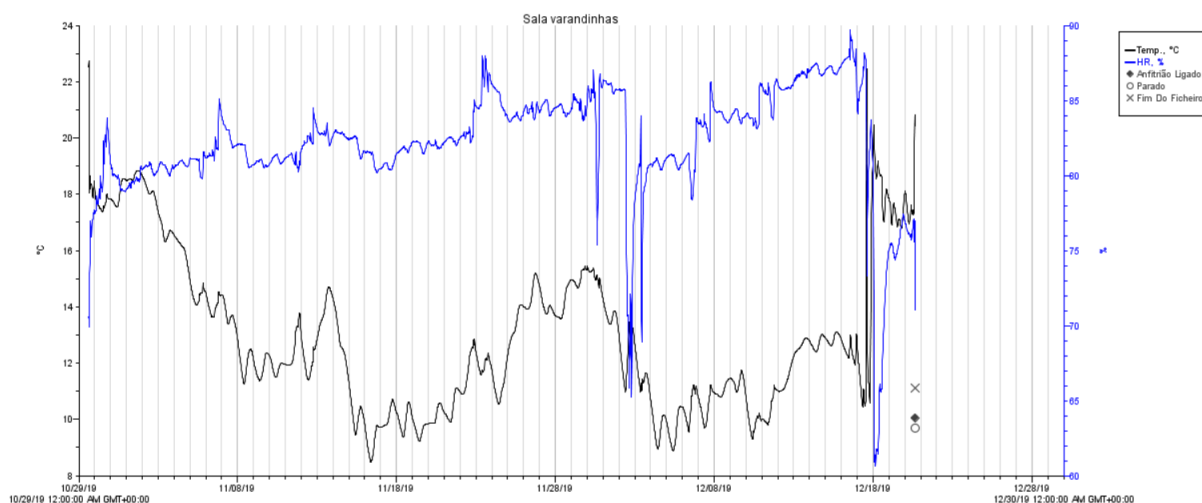


Figura 93 - Dados medidos representados no programa HOBOWARE da sala de estar da Casa das Varandinhas

Na Figura 94 e na Figura 95 podemos ver respetivamente o gráfico das temperaturas registadas no interior desta divisão a azul e o gráfico das temperaturas registadas no exterior da Casa das Varandinhas a preto, de modo a podermos comparar os mesmos:

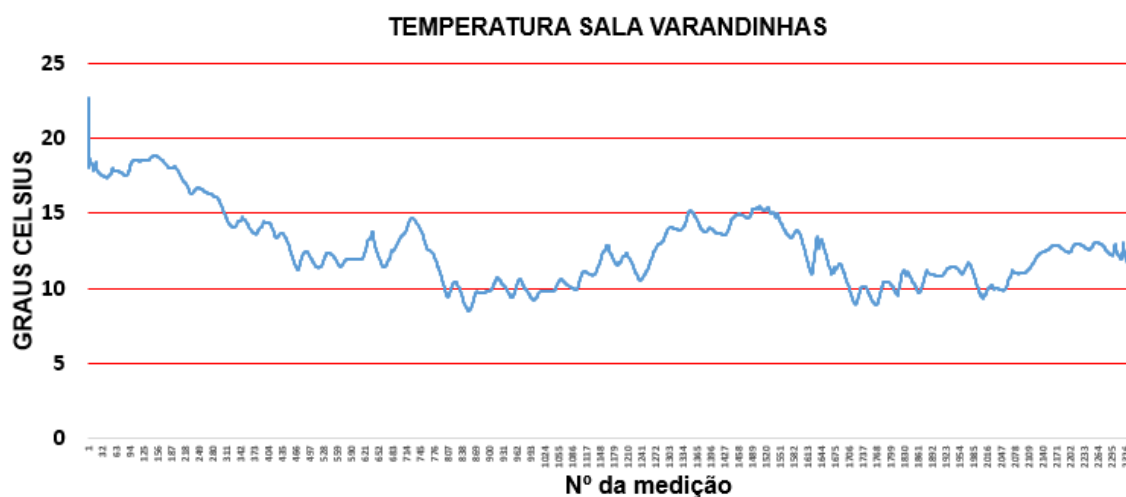


Figura 94 - Temperaturas da sala de estar da Casa das Varandinhas

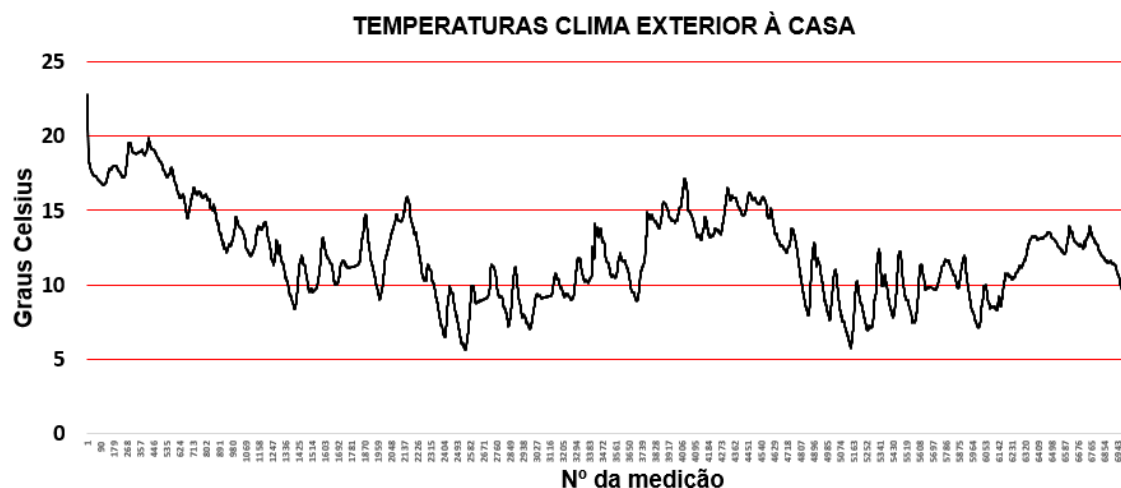


Figura 95 - Temperaturas registadas no exterior da Casa das Varandinhas

Comentários:

O gráfico das temperaturas do ar no interior, relativo a esta divisão, mostra-nos valores mais constantes e praticamente sempre abaixo das temperaturas de conforto. O que pode ser explicado pelo facto de esta divisão não conter aquecimento elétrico, além de ter apenas dois vãos envidraçados para o exterior, um orientado a Norte, onde os ganhos solares são muito baixos, e outro orientado a Este. Duas das paredes desta divisão têm ligação com o exterior.

Em comparação com as temperaturas do exterior, podemos ver, de novo, uma semelhança grande dos dois gráficos, o que demonstra a ocupação pouco frequente da casa durante o período analisado. Mais uma vez, vemos que o gráfico das temperaturas interiores não oscila muito, e que, a curto prazo, estas mantêm-se constantes, o que sugere que esta casa tem uma boa inércia térmica.

6.2.5. COZINHA

Na Figura 96 podemos ver um gráfico dos dados recolhidos pelo dispositivo colocado na sala de estar da Casa das Varandinhas. A azul temos as humidades relativas e a preto temos as temperaturas interiores.

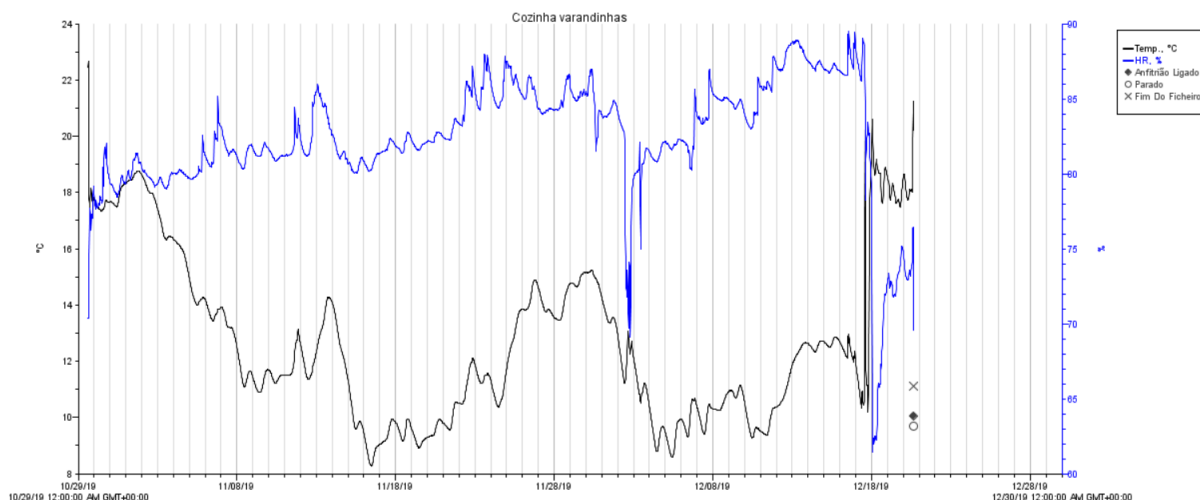


Figura 96 - Dados medidos representados no programa HOBOWARE da cozinha da Casa das Varandinhas

Na Figura 97 e na Figura 98 podemos ver respetivamente o gráfico das temperaturas registadas no interior desta divisão a azul e o gráfico das temperaturas registadas no exterior da Casa das Varandinhas a preto, de modo a podermos comparar os mesmos:

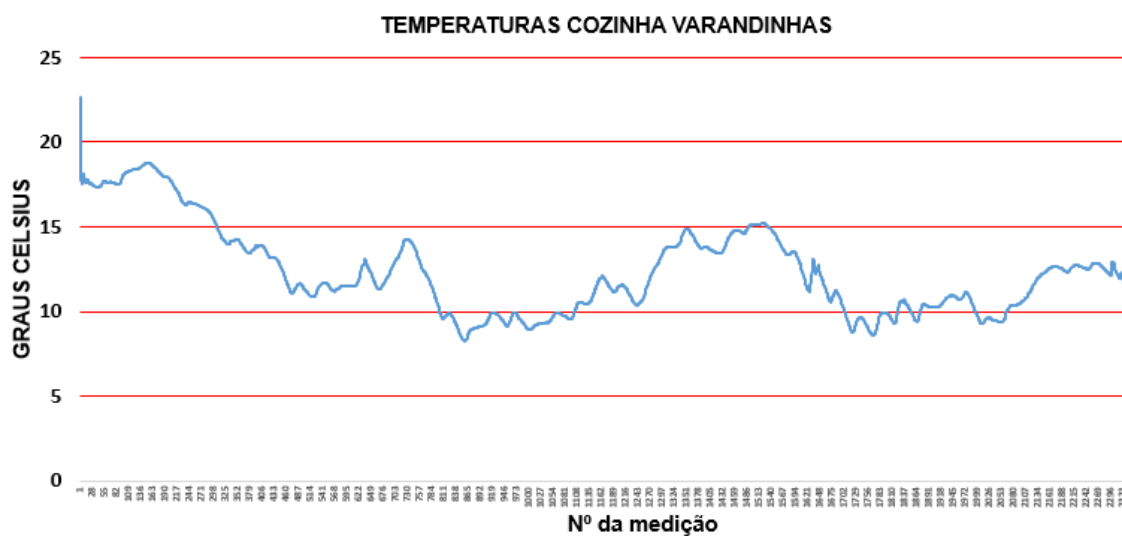


Figura 97 - Gráfico das temperaturas da cozinha da Casa das Varandinhas

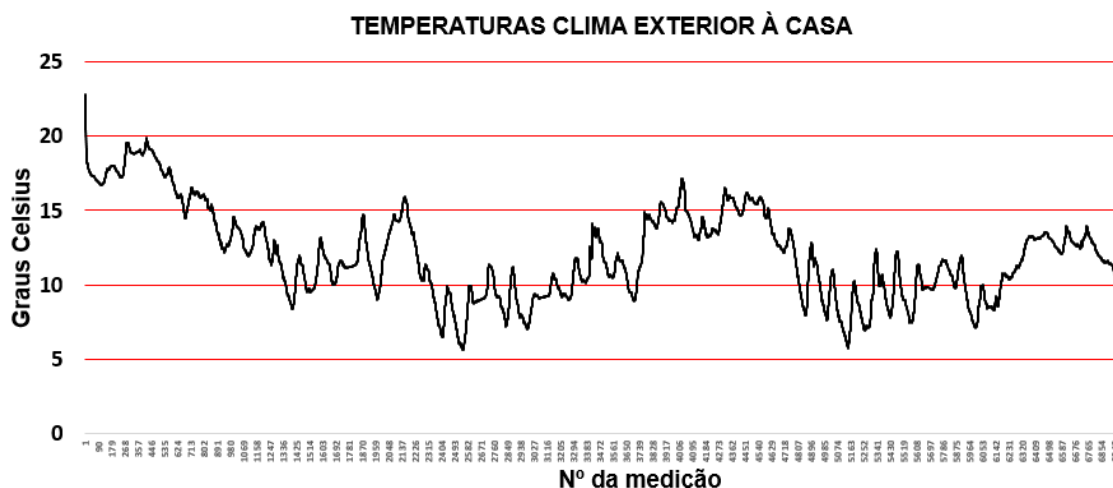


Figura 98 - Temperaturas registadas no exterior da Casa das Varandinhas

Comentários:

Verificamos, de novo, que o gráfico das temperaturas interiores desta divisão é muito semelhante ao gráfico das temperaturas exteriores, sendo também muito semelhante ao gráfico da sala de estar, visto anteriormente, provavelmente pelo facto de estas divisões estarem próximas uma da outra e não terem grande ocupação durante o período em análise.

Em geral, as temperaturas estiveram maioritariamente abaixo da zona de conforto, excepto em alguns casos no Quarto de Casal, em que o aquecimento foi ligado. Estas temperaturas poderão ser explicadas pelo facto de o proprietário fechar todas as portadas exteriores dos vãos envidraçados da casa quando esta não está a ser ocupada, o que diminui substancialmente os ganhos solares da casa e, consequentemente, baixa as temperaturas médias do ar no interior, ou seja, a casa não aquece nem arrefece muito, como podemos ver em todos os gráficos das temperaturas interiores.

Ao compararmos os gráficos das temperaturas interiores com o grafico das temperaturas exteriores, vemos que, a curto prazo, os graficos das temperaturas interiores não oscilam tanto como o das temperaturas exteriores, mantendo-se as temperaturas interiores mais constantes, o que se explica pela inércia térmica da construção, pois vemos que as suas divisões aquecem e arrefecem muito mais lentamente que o exterior.

No entanto, como no período em análise não houve uma ocupação permanente da casa e, quando houve, foi apenas uma pessoa, as temperaturas médias do interior desta divisão acabam por ser, em geral, bastante semelhantes às do exterior.

7

CONCLUSÃO

7.1. CONCLUSÕES GERAIS

7.1.1. CONCLUSÕES RELATIVAS À AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Neste capítulo chegámos à conclusão que algumas das soluções construtivas aplicadas na reabilitação da Casa das Varandinhas têm alternativas, que nos permitem reduzir substancialmente o seu impacto ambiental, de acordo com a análise do ciclo de vida do edifício numa abordagem “Cradle-to-Gate”, proveniente do livro de ACV de análise do impacto ambiental de soluções construtivas [1]. Estas mesmas soluções poderão ser adotadas na reabilitação da Casa do Manel, uma vez que esta casa apresenta condições semelhantes às que a Casa das Varandinhas tinha antes de ser reabilitada.

A laje aligeirada, construída para substituir o chão em madeira existente na Casa das Varandinhas, representou cerca de um quinto do impacto total da reabilitação desta casa, valor que poderia ter sido diminuído em cerca de 16,4% se tivesse sido adotada a solução construtiva do pavimento com painéis alveolares, em betão com armaduras de distribuição, representando isto uma redução de cerca de 3,3% do impacto negativo total da reabilitação da Casa das Varandinhas.

Quanto às soluções dos envidraçados, a solução adotada na reabilitação da Casa das Varandinhas representou cerca de um quarto do valor do impacto final, valor este que poderia ser reduzido, substancialmente, com a adoção de qualquer uma das soluções alternativas apresentadas.

Caso tivesse sido adotada a solução de envidraçados com caixilharia em PVC, em vez de alumínio, isto representaria uma redução de cerca de 62,2 % do impacto da solução inicial, o que corresponde a 17,7% do impacto final.

Se fosse, ainda, adotada a solução correspondente a envidraçados, com caixilharia em madeira, a redução do impacto da solução inicial seria cerca de 64,05%, o que equivale a uma redução do impacto final de 18,3%. No entanto, a madeira, sendo mais vulnerável a ações destrutivas de agentes exteriores, como a chuva, o vento e variações de temperatura ou agentes interiores, como a humidade, teria, necessariamente, que ser adequadamente protegida, através de tratamento e revestimento exterior compatível, assim como exigiria uma manutenção regular.

Quanto às portadas em alumínio, se tivesse sido adotada a solução alternativa, de portadas em PVC rígido, os impactos negativos seriam reduzidos em média 78,4 %, o que se iria traduzir numa redução de cerca de 3,6 % do impacto negativo total da reabilitação da Casa das Varandinhas.

Há, ainda, as opções de caixilharias híbridas, como madeira pelo interior e alumínio revestido pelo exterior, PVC pelo exterior e madeira revestida pelo interior e também PVC pelo interior e alumínio revestido pelo exterior, cujas reduções do impacte final, se estas soluções fossem aplicadas, seriam também significativas. No entanto, e como já foi referido, a madeira requer mais cuidados e uma manutenção regular e o alumínio tem impactes superiores ao PVC.

Por fim, no caso do revestimento exterior, em placas de pedra com uma espessura média de 6 cm, o uso de placas de pedra com metade desta espessura média representaria uma redução do impacto desta solução de 50%, pois a quantidade de pedra utilizada reduziria para metade. Isto representaria uma redução de cerca de 14 % do impacte negativo total da reabilitação da Casa das Varandinhas.

Em suma, as alterações mais recomendadas, a realizar numa reabilitação, à semelhança da que foi efetuada na Casa das Varandinhas, são, o uso de pavimento com painéis alveolares em betão, com armaduras de distribuição em vez de laje aligeirada, o uso de envidraçados com caixilharia em PVC, em vez de alumínio, o uso de portadas de PVC rígido, em vez de alumínio e, também, a redução para metade da espessura das placas de pedra do revestimento das paredes exteriores. Todas estas alterações, em conjunto, representariam uma redução do impacte negativo global da reabilitação da Casa das Varandinhas de 38,6 %, valor que é muito significativo.

7.1.2. CONCLUSÕES RELATIVAS AO RISCO DE SOBREAQUECIMENTO NO VERÃO

Neste capítulo, após analisarmos quatro divisões distintas, de duas casas diferentes e em condições de habitabilidade diferente, chegámos à conclusão que o tipo de proteções solares exteriores dos envidraçados, o tipo de envidraçados utilizado e a existência de ventilação natural nas quantidades e horas certas são de grande importância para resolver os problemas de sobreaquecimento numa divisão.

No caso das proteções solares, na estação de arrefecimento é recomendável manter, pelo menos, uma portada fechada, de modo a diminuir os ganhos solares e, consequentemente, as temperaturas do ar interior, não deixando a casa aquecer muito. Tal pode, ainda, ser melhorado com a existência de ventilação natural noturna, que pode ser facilmente regulada com janelas oscilo batentes, de forma a não causar fluxos de ar desconfortáveis. No caso de uma divisão não estar a ser utilizada, o recomendável é que se fechem totalmente as portadas durante o período diurno, o que vai permitir variações muito reduzidas das temperaturas do ar interior.

O número de vãos envidraçados existente e a sua orientação, assim como as suas dimensões, são, também, fatores muito importantes, pois como já vimos fazem uma grande diferença, a nível de ganhos solares e aquecimento do ar do interior.

Vimos, também, que o aquecimento e arrefecimento do ar interior é mais rápido nas divisões que possuem janelas de vidro simples e com caixilharia sem corte térmico, facto que pode ser explicado pelo maior valor de U neste caso, em comparação ao caso dos vidros duplos, com caixilharia com corte térmico. Um maior valor de U corresponde a uma maior perda de calor durante a noite.

7.1.3. CONCLUSÕES RELATIVAS AO CONFORTO HIGROTÉRMICO ATUAL

Durante o período em análise houve uma ocupação, média, na casa de três dias por semana, grande parte dos quais por apenas uma pessoa, que pernitoou no quarto de casal.

As temperaturas interiores registadas na Casa das Varandinhas, ao longo do período de análise, com a duração de um mês e meio, permitiu-nos perceber melhor o seu desempenho térmico.

Em geral, as temperaturas estiveram maioritariamente abaixo da zona de conforto, excepto em alguns casos no Quarto de Casal, em que o aquecimento foi ligado. Estas temperaturas poderão ser explicadas pelo facto de o proprietário fechar todas as portadas exteriores dos vãos envidraçados da casa quando esta não está a ser ocupada, o que diminui substancialmente os ganhos solares da casa e, consequentemente, baixa as temperaturas médias do ar no interior, ou seja, a casa não aquece nem arrefece muito, como podemos ver em todos os gráficos das temperaturas interiores.

As situações em que a temperatura aumenta substancialmente, no caso do quarto de casal, correspondem, naturalmente, a períodos em que esta divisão esteve ocupada e, no ultimo terço do gráfico das temperaturas desta divisão, são evidentes três picos da temperatura, em que esta atinge valores dentro do conforto térmico desejado, que correspondem aos períodos noturnos em que o morador da casa afirmou ter ligado o aquecimento elétrico, existente nesta divisão.

Ao compararmos os gráficos das temperaturas interiores com o grafico das temperaturas exteriores, vemos que, a curto prazo, os graficos das temperaturas interiores não oscilam tanto como o das temperaturas exteriores, mantendo-se as temperaturas interiores mais constantes, o que se explica pela inércia térmica da construção, pois vemos que as suas divisões aquecem e arrefecem muito mais lentamente que o exterior.

No entanto, como no período em análise não houve uma ocupação permanente da casa e, quando houve, foi apenas uma pessoa, as temperaturas médias do interior desta divisão acabam por ser, em geral, bastante semelhantes às do exterior.

7.2. DESENVOLVIMENTO FUTURO

Nesta dissertação foi feita uma análise de diversas soluções e foi quantificado o seu potencial de sustentabilidade, com um foco maior na vertente ambiental.

Não obstante, além da valorização e proteção do meio ambiente, o desenvolvimento sustentável procura, também, o desenvolvimento económico e a coesão social, sendo, portanto, interessante fazer uma análise económica, isto é, um estudo que envolvesse uma avaliação dos custos económicos do ciclo de vida.

Como referido anteriormente, no capítulo 4, a avaliação do ciclo de vida tem diversas variantes.

A metodologia aplicada nesta dissertação foi baseada na variante *Cradle-to-gate*, ou seja, inclui todos os processos de produção de um material, que vão desde a extração do material até à porta da fábrica,

seguindo por fim até ao consumidor final. Seria, agora, interessante ter em conta as variantes que não foram consideradas, para que esta análise se torne mais completa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Luís Bragança, Ricardo Mateus, *Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios. Impacte Ambiental de Soluções Construtivas.*, Portugal por Multicomp, 2011.
- [2] Finances Online “Construction industry statistics”. [Online]. Available from: (<https://financesonline.com/construction-industry-statistics/#1>).
- [3] Global Economics [Online], Available from: (<http://www.globalconstruction2030.com/>). [Acedido em Novembro 2019].
- [4] GlobalData, *Global Construction Outlook to 2023 - Q3 2019 Update*. 2019.
- [5] INE, IP, *Construção: Obras licenciadas e concluídas 3º Trimestre de 2019 - Dados preliminares*. Instituto Nacional de Estatística, IP, 2019.
- [6] Construção, I.-I.d.M.P.d.I.e.d., *O Sector da Construção em Portugal 2019 1º semestre*. 2019.
- [7] Anderson, J.E., et al., In *4.1 Introduction*, pp.
- [8] Torgal, F.P. and S. Jalali, *A sustentabilidade dos materiais de construção*. 2010, Universidade do Minho. TecMinho.
- [9] Oliveira, D. *AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE UMA INTERVENÇÃO DE REABILITAÇÃO - Complexo Escolar como Caso de Estudo*. Tese de Mestrado, FEUP, 2017.
- [10] Climate College, M.M. [Online]
Available from: (<http://climatecollege.unimelb.edu.au/facts4cop21-paris-agreement-includes-ambitious-long-term-goal>). [Acedido em Dezembro 2019]
- [11] Doyle, A., *NDC Global Outlook Report 2019-"The heat is on"*, U. Nations, Editor. 2019.
- [12] Welle, D., *Dez pontos principais do documento final da COP25*. 2019.
- [13] Roser, H.R.a.M., *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. 2019.
- [14] REN21, *Global Status Report*. 2018.

- [15] POUPA+ENERGIA [Online], Available from: (<https://poupaenergia.pt/dicas/iluminacao-led/>) [Acedido em Novembro 2019].
- [16] ISO14044, [Online] *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*. (Novembro de 2019) Available from: <https://www.iso.org/standard/38498.html>. [Acedido em Novembro 2019].
- [17] Berge, B., *The ecology of building materials*. 2009: Routledge.
- [18] Adalberth, K., *Energy use during the life cycle of buildings: a method*. Building and Environment, 1997. 32(4): p. 317-320.
- [19] Pomponi, F., C. De Wolf, and A. Moncaster, *Embodied Carbon in Buildings: Measurement, Management, and Mitigation*. 2018: Springer International Publishing.
- [20] Institution of Structural, E., In 4. *Data for Embodied Carbon and Energy - Life Cycle Inventories (LCIs)*, pp.
- [21] ISO, *ISO 7730*. [Online] Available from: <https://www.iso.org/standard/39155.html>. [Acedido em Novembro 2019]
- [22] Galp Energia [Online], Available from: (<https://www.galpenergia.com/PT/ProdutosServicos/GasNatural/Paginas/Eficiencia-energetica.aspx>). [Acedido em Novembro 2019].
- [23] Dos Santos, C.A.P. and L. Matias, *ITE 50—Coeficientes de transmissão Térmica de elementos da envolvente dos Edifícios—Laboratório Nacional de Engenharia Civil*. Versão actualizada, 2006.
- [24] Portugal, G.d., *Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II de 2013-12-03*. 2013, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia.
- [25] USEPA Agency, U.-U.S.E.P. [Online] Available from: (<https://www.epa.gov/mold/mold-course-chapter-2#Chapter2Lesson4>). [Acedido em Dezembro 2019]
- [26] FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto [Online], Available from: (<https://paginas.fe.up.pt/~dec/pt-pt/laboratorios/laboratorio-de-materiais-de-construcao>). [Acedido em Dezembro 2019].